
BACHELORARBEIT

Herr
Jürgen Strödel

**Neues Lichtkonzept
für altes Büro**

Mittweida, 2014

BACHELORARBEIT

Neues Lichtkonzept für altes Büro

Autor:

Herr

Jürgen Strödel

Studiengang:

Industrial Engineering

Seminargruppe:

IE 10 w 1-F

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Thiem

Zweitprüfer:

Dipl.-Ing. Ines Kamprad

Einreichung:

Mittweida, 29.08.2014

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2014

BACHELOR THESIS

New light concept for old office

author:

Mr.

Jürgen Strödel

course of studies:

Industrial Engineering

seminar group:

IE 10 w 1-F

first examiner:

Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Thiem

second examiner:

Dipl.-Ing. Ines Kamprad

submission:

Mittweida, 29.08.2014

defence/ evaluation:

Mittweida, 2014

Bibliografische Beschreibung:

Strödel, Jürgen:

Neues Lichtkonzept für altes Büro. - 2014. - 10, 71, 46 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Elektro- und Informationstechnik,
Bachelorarbeit, 2014

Referat:

Bewertung von Anwendungssoftware zur lichttechnischen Berechnung (an einem Beispiel) und Vergleich mit internetbasierenden Lösungen und mobilen Applikationen.

Inhalt

Inhalt I

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	X
1 Einleitung.....	11
1.1 <i>Motivation.....</i>	11
1.2 <i>Problem und Zielstellung.....</i>	12
2 Vom Licht zur Beleuchtung	13
2.1 <i>Physikalische Grundlagen.....</i>	13
2.1.1 <i>Spektrale Größen.....</i>	13
2.1.2 <i>Lichttechnische Grundgrößen.....</i>	14
2.1.2.1 <i>Raumwinkel.....</i>	14
2.1.2.2 <i>Lichtstrom.....</i>	15
2.1.2.3 <i>Lichtstärke.....</i>	15
2.1.2.4 <i>Beleuchtungsstärke.....</i>	16
2.1.2.5 <i>Leuchtdichte.....</i>	17
2.1.3 <i>Beziehungen zwischen den lichttechnischen Größen.....</i>	18
3 Anforderungen an eine gute Beleuchtung	21
3.1 <i>Lichttechnische Baustoffe, Leuchten und Lichtquellen</i>	21
3.1.1 <i>Lichttechnische Baustoffe.....</i>	21
3.1.2 <i>Leuchten</i>	22
3.1.3 <i>Lichtquellen</i>	23
3.2 <i>Lichttechnische Gütemerkmale</i>	24
3.2.1 <i>Beleuchtungsstärke.....</i>	24
3.2.2 <i>Blendung</i>	26
3.2.3 <i>Lichtrichtung und Schattenbildung.....</i>	27
3.2.4 <i>Lichtfarbe und Farbwiedergabe</i>	27
3.2.5 <i>Tageslicht.....</i>	29
3.2.6 <i>Wartungsfaktor.....</i>	29
3.3 <i>Forderungen der Arbeitsstättenverordnung</i>	30

4	Lichttechnische Berechnungsmethoden	33
4.1	<i>Lichtstrommethode</i>	33
4.2	<i>Lichtstärkemethode.....</i>	35
5	Projekt	36
5.1	<i>Aufgabe und Zielstellung, Voraussetzungen</i>	36
5.2	<i>Manuelle Berechnung nach der Wirkungsgradmethode</i>	38
5.2.1	Berechnungsergebnisse	40
5.3	<i>Raumkonstruktion und computergestützte Berechnung mit DDS-CAD</i>	40
5.3.1	Softwarebeschreibung	40
5.3.2	Raumkonstruktion	40
5.3.3	Lichttechnische Berechnung nach der Wirkungsgradmethode	42
5.3.4	Berechnungsergebnisse	45
5.4	<i>Softwarebasierende Berechnung mit Relux</i>	46
5.4.1	Softwarebeschreibung	46
5.4.2	Raumkonstruktion und Datenimport	46
5.4.3	Berechnung	48
5.4.4	Berechnungsergebnisse	52
5.5	<i>Softwarebasierende Berechnung mit Dialux.....</i>	53
5.5.1	Softwarebeschreibung	53
5.5.2	Raumkonstruktion und Datenimport	53
5.5.3	Berechnung	57
5.5.4	Berechnungsergebnisse	59
5.6	<i>Berechnung mit der Glamox Web-Applikation für mobile Endgeräte</i>	60
5.6.1	Anwendungsbeschreibung	60
5.6.2	Installation der Anwendung	60
5.6.3	Leuchtauswahl und Berechnung	61
5.6.4	Berechnungsergebnisse	64
5.7	<i>Online-Berechnung auf der Trilux-Herstellerseite.....</i>	65
5.7.1	Anwendungsbeschreibung	65
5.7.2	Leuchtauswahl und Berechnung	65
5.7.3	Berechnungsergebnisse	67
5.8	<i>Dialux-Referenzobjekt mit Objekten.....</i>	68
5.8.1	Raumkonstruktion und Datenimport	68
5.8.2	Berechnung	69
5.8.3	Berechnungsergebnisse	71
5.9	<i>Praktische Umsetzung und Messung der Istwerte.....</i>	72
5.9.1	Montage.....	72
5.9.2	Messung	73

6	Auswertung der Berechnungsergebnisse	78
6.1	<i>Fazit und Handlungsempfehlung</i>	<i>81</i>
Literatur 82		
Anlagen 84		
Anlagen, Teil 1		I
Anlagen, Teil 2		II
Anlagen, Teil 3		III
Anlagen, Teil 4		IV
Anlagen, Teil 5		V
Selbstständigkeitserklärung		

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Sichtbares Spektrum des Lichts (Quelle: Horst Frank / Phrood /Anony (GFDL))	13
Abbildung 2 Raumwinkel (Quelle: [ELV-5/2011])	15
Abbildung 3 Lichtstärkeverteilungskurven für C-, A- und B-Ebenen (Quelle: G.Schenke, Hochschule Emden/Leer, Hilfsblätter zur Beleuchtungstechnik S. 8)	16
Abbildung 5 Beleuchtungsstärke Quelle: www.leds.com	17
Abbildung 6 Lichtverteilungskurven verschiedener Lampentypen (Quelle: G.Schenke, Hochschule Emden/Leer, Hilfsblätter zur Beleuchtungstechnik S. 75)	22
Abbildung 7 Bedeutung der Größen der UGR-Blendformel (Quelle: [Hen-2002],	27
Abbildung 8 CIE-Farbtafel (Quelle: Torge Anders)	28
Abbildung 9 Raum für Wirkungsgradmethode (Quelle: G.Schenke, Hochschule Emden/Leer, Hilfsblätter zur Beleuchtungstechnik S. 28).....	34
Abbildung 10 Büro des Projektes	36
Abbildung 11 Produktinformation Trilux-Leuchte	37
Abbildung 12 ELUMDAT-Daten der Trilux-Leuchte	37
Abbildung 13 DDS-CAD, Grundriss	41
Abbildung 14 DDS-CAD, 3D-Raummodell	41
Abbildung 15 DDS-CAD, Projektmanager	42
Abbildung 16 DDS-CAD, Start Lichtberechnung	42
Abbildung 17 DDS-CAD, Ergänzungen zu den Raumdaten	43
Abbildung 18 DDS-CAD, Auswahl der Leuchten	43

Abbildungsverzeichnis	V
Abbildung 19 DDS-CAD, Berechnungsergebnisse	44
Abbildung 20 DDS-CAD, grafische Darstellung Berechnungsergebnis	44
Abbildung 21 DDS-CAD, Datenexport zu Relux	46
Abbildung 22 Relux, aus DDS-CAD übernommene Raumdaten, 3D-Darstellung	47
Abbildung 23 Relux, aus DDS-CAD übernommene Raumdaten, 2D-Darstellung	47
Abbildung 24 Relux, Anpassung Reflexionsgrade	48
Abbildung 25 Relux, Import von Leuchtendaten	48
Abbildung 26 Relux, EasyLux, Leuchtenanordnung	49
Abbildung 27 Relux, Auswahl UGR-Tabelle	49
Abbildung 28 Relux, Berechnungsmanager	50
Abbildung 29 Relux, Übersicht Berechnungsergebnisse	51
Abbildung 30 Relux, Ausgabemenü	52
Abbildung 31 DDS-CAD, Datenexport	53
Abbildung 32 DDS-CAD, Dialux-STF-Schnittstelle	54
Abbildung 33 Dialux, aus DDS-CAD übernommene Raumdaten, 2D-Darstellung	54
Abbildung 34 Dialux, aus DDS-CAD übernommene Raumdaten, 3D-Darstellung	55
Abbildung 35 Dialux, Anpassung Reflexionsgrade	55
Abbildung 36 Dialux, Import von Leuchtendaten	56
Abbildung 37 Dialux, Platzierung der Leuchten	56
Abbildung 38 Dialux, Anpassung Nutzebene, einfügen UGR-Berechnungsfläche	57
Abbildung 39 Dialux, Start der Berechnung	57
Abbildung 40 Dialux, Isoliniendarstellung 2D	58
Abbildung 41 Dialux, Isoliniendarstellung 3D	58

Abbildung 42 Dialux, Ausgabemenü und UGR-Berechnungsergebnisse	59
Abbildung 43 Glamox, Auswahl der App Installation der Web-Applikation.....	61
Abbildung 44 Glamox, Installation der Web-Applikation.....	61
Abbildung 45 Glamox, Produktsuche ausgewählte Leuchte	62
Abbildung 46 Glamox, ausgewählte Leuchte	62
Abbildung 47 Glamox, Produktbeschreibung Lichtverteilungskurve	62
Abbildung 48 Glamox, Lichtverteilungskurve	62
Abbildung 49 Glamox, Berechnungsmodus Raumdaten	63
Abbildung 50 Glamox, Berechnungsmodus Raumdaten	63
Abbildung 51 Glamox, Leuchtenanordnung Ausgabemenü.....	64
Abbildung 52 Glamox, Leuchtenanordnung Ausgabemenü.....	64
Abbildung 53 Trilux, Leuchtauswahl.....	65
Abbildung 54 Trilux, ausgewählte Leuchte.....	66
Abbildung 55 Trilux, Berechnungstabelle und Lichtrechner.....	66
Abbildung 56 Trilux, Lichtrechner Eingabewerte	67
Abbildung 57 Trilux, Lichtrechner Ergebnis	67
Abbildung 58 Dialux, Grundriss mit DXF-Grafik	68
Abbildung 59 Dialux, Objektdateien	69
Abbildung 60 Dialux, 3D-Raummodell mit Objekten und Raumelementen	69
Abbildung 61 Dialux, Arbeitsbereiche und Berechnungspunkte bzw. -Raster.....	70
Abbildung 62 Dialux, Ausgabemenü	70
Abbildung 63 Dialux, Lageplan der Leuchten	72
Abbildung 64 Büro mit neuen Leuchten	73
Abbildung 65 Messung und Erfassung der Messwerte.....	74

Abbildung 66 Berechnungsraster 1, Lage der Messpunkte.....	75
Abbildung 67 Berechnungsraster 2, Lage der Messpunkte.....	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Wellenlängen und Photonenenergien	14
Tabelle 2 Lichtstärkewerte einiger Lichtquellen	16
Tabelle 3 Beispiele für Beleuchtungsstärken (Quelle [Bae-2006])	17
Tabelle 4 Reflexionsgrade verschiedener Materialien (Quelle: [Scho-2014])	20
Tabelle 5 Transmissions- und Reflexionsgrade verschiedener Materialien (Quelle: [Bae-2006])	20
Tabelle 6 Klassifizierung lichttechnischer Baustoffe nach DIN 5036 Teil 4	21
Tabelle 7 Leuchtenarten Nutzlichtstromverteilung nach DIN 5040	22
Tabelle 8 Schutzarten ohne Ergänzende Buchstaben nach DIN EN 60529 (VDE 470 Teil 1) (Quelle: [hea-2014])	23
Tabelle 9 Kategorisierung von Lichtquellen	24
Tabelle 10 Ausgewählte Beleuchtungsstärkewerte (Quelle: [DIN EN 12464-1], S. 23)	25
Tabelle 11 Gleichmäßigkeiten und Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke des unmittelbaren Umgebungsbereiches und der Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe (Quelle: [DIN EN 12464-1], S. 7)	25
Tabelle 12 Bereiche für den allgemeinen Farbwiedergabeindex von Lampen (Quelle: [Lüb-2012], S. 125)	29
Tabelle 13 Empfohlene Referenz-Wartungsfaktoren (Quelle: [Tri-2004])	30
Tabelle 14 Raumdaten des Projektes	36
Tabelle 15 Raumwirkungsgrade η_R als Funktion der Beleuchtungsart und des Raumindex (Quelle: DIN V 18599-4)	38
Tabelle 16 Relux, UGR-Tabelle	52

Tabellenverzeichnis	IX
Tabelle 17 Dialux, Übersicht Berechnungsergebnisse.....	59
Tabelle 18 Berechnungsraster 1, Punktwerte	75
Tabelle 19 Berechnungsraster 2, Punktwerte	76
Tabelle 20 Vergleich Berechnungs- und Messwerte.....	80

Abkürzungsverzeichnis

App	Anwendungssoftware (Application Software), Begrifflichkeit wird meist im Zusammenhang mit mobilen Betriebssystemen verwendet
PDF	Portable Dokument Format, von Adobe Systems entwickeltes Betriebssystem-unabhängiges Dateiformat
DIN	Deutsches Institut für Normung

1 Einleitung

„Die Beleuchtung, die natürliche wie auch die künstliche, ist so sehr Teil unseres täglichen Lebens, dass sie bedauerlicherweise immer als selbstverständlich angesehen wird. Und weil sie so leicht zu benutzen und zu handhaben ist, wird die Verantwortung für ihre Anwendung in der überwiegenden Zahl der Fälle bereitwillig und mit Freuden von denjenigen übernommen, die weder die erforderliche Ausbildung noch die entsprechende Erfahrung haben.“ [Ha-1985].

Dieses Zitat eines Lichtberaters stellt fest, dass nur mit fachlicher Kompetenz und Erfahrung gute Lösungen erzielt werden können. Die Arbeit hat aber auch zum Ziel, nachzuweisen, dass für Standardfälle auch einfache Methoden reichen, um befriedigende Ergebnisse zu erzielen.

1.1 Motivation

Der größte Teil der Informationen, die am Arbeitsplatz aufgenommen werden müssen, steht nur als visuelle Komponente zur Verfügung. Die zunehmende Anzahl von Bildschirmarbeitsplätzen erhöht den Stellenwert einer ergonomisch durchdachten Beleuchtung.

Die Arbeit am Bürocomputer ist anstrengend für die Augen. Der ständige Blickwechsel zwischen Monitor und anderen Objekten in unterschiedlicher Entfernung erfordert eine permanente Anpassung der Augen an diese unterschiedlichen Anforderungen.

Die Anforderungen an Bildschirmarbeitsplätze werden in Deutschland in der Arbeitsstättenverordnung und in der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4 Beleuchtung festgelegt. Dazu ergänzend gibt es berufsgenossenschaftliche Informationen zur Umsetzung. Als weitere Norm sei die DIN EN 12464 Teil 1 und Teil 2 genannt. Jedoch gibt es in der ASR A3.4 den Hinweis: „Die Anforderungen dieser ASR weichen in Einzelfällen von Normen, insbesondere von DIN EN 12464-1:2003 Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen sowie DIN EN 12464-2:2007 - Teil 2: Beleuchtung im Freien ab. Die DIN EN 12464 Teil 1 und 2 legen Planungsgrundlagen für Beleuchtungsanlagen fest, berücksichtigen aber nicht die Anforderungen, die an Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten bei der Arbeit zu stellen sind.“.

Eine optimale Beleuchtung des Arbeitsplatzes verbessert das Wohlbefinden der Mitarbeiter und wirkt sich positiv auf das Leistungsvermögen aus. Insbesondere bei älteren Büroräumen, die im Verlauf der Nutzung umgestaltet wurden, werden diese Anforderungen oft nicht erfüllt.

Ich bin selbst in einem Unternehmen mit überwiegend Büro- und damit Bildschirmarbeitsplätzen beschäftigt und nehme die Funktion des Sicherheitsbeauftragten wahr. Die Erfahrungen der letzten Jahre haben mir gezeigt, dass bei vielen Führungskräften das Verständnis für die genannten Anforderungen und die daraus resultierenden Beeinträchtigungen für die Mitarbeiter fehlt.

Meine schlechten Erfahrungen, waren Motivation mich diesem Thema im Rahmen meiner Bachelorarbeit anzunehmen.

1.2 Problem und Zielstellung

Für die Projektierung von Arbeitsplatzbeleuchtungen gibt es zahlreiche Software mit großem Funktionsumfang. Den deutschen Markt dominieren die kostenfrei erhältlichen Programme Dialux und Relux. Über optionale Plug-ins stellen alle namhaften Hersteller lichttechnische Daten ihrer Leuchten zur Verfügung. Diese lassen sich zur weiteren Berechnung komfortabel auswählen.

Ich möchte ein Beispielprojekt diesen beiden Computerprogrammen berechnen und die Ergebnisse vergleichen.

Für kleinere Elektroinstallationsunternehmen oder Auftraggeber, die die Beauftragung eines kompetenten Ingenieurbüros aus Kostengründen vermeiden wollen, ist die Realisierung der notwendigen Berechnungen der o. g. Software eine zeitliche Herausforderung. Alternativ besteht die Möglichkeit einer manuellen Berechnung nach der Wirkungsgradmethode.

Für die überschlägige Ermittlung des Leuchten- bzw. Lampenbedarfes bieten viele Leuchtenhersteller die Möglichkeit an, auf ihren Homepages Berechnungen durchzuführen. Für den Einsatz mit mobilen Endgeräten werden mittlerweile Apps zum Download zur Verfügung gestellt.

Das für die Dialux- und Relux-Berechnung gewählte Beispielprojekt möchte ich ebenfalls mit einem Onlinetool und einer App für mobile Endgeräte berechnen und die Ergebnisse auswerten.

Alle Berechnungsergebnisse werden abschließend verglichen. Als Fazit soll eine Handlungsempfehlung für die Praxis entstehen.

Wenn es im zu Verfügung stehenden Zeitrahmen möglich ist, erfolgt die Montage der gewählten Leuchten in der berechneten Anordnung und eine Messung der Istwerte. Alternativ kann die Prüfung der theoretischen Ergebnisse auch Bestandteil einer weiteren Betrachtung sein.

2 Vom Licht zur Beleuchtung

2.1 Physikalische Grundlagen

2.1.1 Spektrale Größen

Das Licht ist Energie in Form elektromagnetischer Strahlung. Die Ausbreitung erfolgt im leeren Raum mit Lichtgeschwindigkeit ($c = 300.000 \text{ km/s}$). Nur ein schmaler Bereich zwischen den Wellenlängen 380 nm und 780 nm bildet das für den Menschen sichtbare Spektrum. Jede Wellenlänge dieses Bereiches wird als bestimmte Farbe wahrgenommen. Weißes Licht enthält alle Farben, ein Prisma kann es in einzelne Spektralfarben zerlegen.

Die Farbwiedergabe erfolgt durch Reflexion der entsprechenden Lichtanteile. Ist dieser im Licht nicht enthalten, so kann diese Farbe nicht wiedergegeben werden.

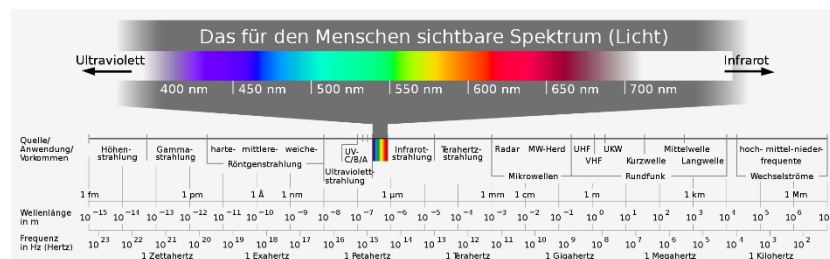


Abbildung 1 Sichtbares Spektrum des Lichts (Quelle: Horst Frank / Phrood /Anony (GFDL))

In Wechselwirkung mit stofflicher Materie kommt es durch Absorption und Emission zum Energieaustausch. Das Licht zeigt hier Korpuskelcharakter.

Die Korpuskulartheorie geht auf Isaac Newton zurück. Er konnte damit Reflexion und Brechung des Lichts erklären. Danach sendet das Licht kleine Teilchen aus (Korpuskeln), die sich mit hoher Geschwindigkeit geradlinig ausbreiten. Diese Theorie wurde später durch die Wellentheorie von HUYGENS [1678] und YOUNG [1803] widerlegt, die Licht als Transversalwelle und MAXWELL [1865] als elektromagnetische Transversalwelle erklärten. Bei Emission und Absorption versagt jedoch diese Theorie. Erst PLANCK [1900] und EINSTEIN [1905] konnten mit der Lichtquantenhypothese, die wieder auf ein Teilchenmodell aufbaut, eine Erklärung liefern.

Die Lichtquanten haben die Energie

$$q = h * f = h * \frac{c}{\lambda} \quad (2.1)$$

$h=6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$	Planck'sches Wirkungsquantum
$c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$	Lichtgeschwindigkeit
λ	Wellenlänge
f	Frequenz

Bezeichnung	Bereich	Wellenlänge λ nm	Photonenenergie q 10^{-19} J eV		Bemerkungen
Licht (VIS)	violett	380... 400	5,2... 4,7	3,3 ...2,9	555 nm Maximum der Hell-empfindung
	blau	420... 490	4,7... 4,0	2,9 ...2,5	
	grün	490... 560	4,0... 3,5	2,5 ...2,2	
	gelb	560... 590	3,5... 3,4	2,2 ...2,1	
	orange	590... 620	3,4... 3,2	2,1 ...2,0	
	rot	620... 780	3,2... 2,5	2,0 ...1,5	

Tabelle 1 Wellenlängen und Photonenenergien

2.1.2 Lichttechnische Grundgrößen

2.1.2.1 Raumwinkel

Der Raumwinkel ist das Verhältnis der Größe einer beleuchteten Fläche (exakt: Kugelkappe bei senkrechtem Lichteinfall) zum Quadrat des Abstandes zwischen Lichtquelle und Fläche.

$$\Omega = \frac{dA_k}{r^2} * \Omega_0 \quad (2.2)$$

$[\Omega]$ = sr, Einheit Steradian

r Radius der Kugel im Zentrum des Beobachterpunktes

Ω_0 Einheitsraumwinkel 1 sr

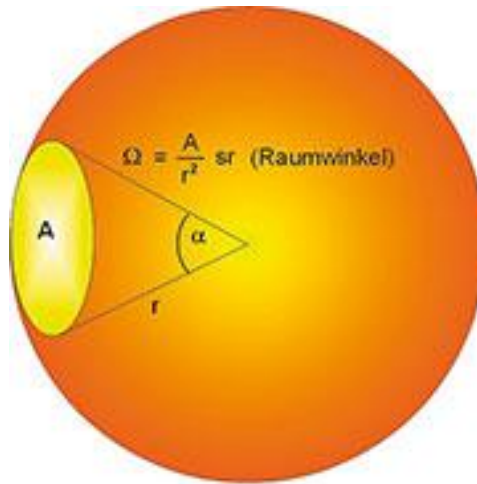


Abbildung 2 Raumwinkel (Quelle: [ELV-5/2011])

Mit dem Raumwinkel lässt sich die strahlenförmige Ausbreitung einer punktförmigen Lichtquelle oder die Einstrahlung auf einen Punkt am besten beschreiben.

2.1.2.2 Lichtstrom

Als Lichtstrom wird die mit der spektralen Helligkeitsempfindung $V(\lambda)$ bewertete spektrale Strahlungsleistung definiert. Der maximale Wert der Helligkeitsempfindung liegt beim Tagsehen im Bereich von 550 – 560 nm, beim Nachtsehen bei ca. 510 nm.

$$\Phi = K_m \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} V(\lambda) * \Phi_{e\lambda} * d\lambda \quad (2.3)$$

$[\Phi] = \text{lm}$, Einheit Lumen

$K_m = 683 \text{ lm/W}$ fotometrisches Strahlungsäquivalent

$\Phi_{e\lambda}$ spektraler Strahlungsfluss

2.1.2.3 Lichtstärke

Die Lichtstärke ist das Verhältnis des in einem kleinen Winkel abgestrahlten Lichtstromes zur Größe des Raumwinkels. Er ist ein Maß für die Lichtausstrahlung in eine bestimmte Richtung.

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2.4)$$

$[I] = \text{cd}$, Einheit Candela

Die Einheit Candela ist die Grundeinheit der Beleuchtungstechnik und Basiseinheit des Einheitensystems (SI). Nach [PTB] ist Candela die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hertz aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung $(1/683)$ Watt durch Steradian beträgt.

Die alleinige Angabe der Lichtstärke ist nur bei annähernd punktförmigen Lichtquellen sinnvoll. Zur umfänglicheren Beschreibung ist die Lichtstärkeverteilung in allen bzw. ausgewählten Ebenen anzugeben.

Lichtquelle	Lichtstärke cd
Kerze	0,6 ... 1,0
Glühlampe, 100 W	≈ 110
Sonne	$\approx 3 \cdot 10^{27}$

Tabelle 2 Lichtstärkewerte einiger Lichtquellen

Für die Praxis ist die C-Ebene die wichtigste Bezugsebene zur Darstellung der Lichtstärkeverteilung. Die A_0 -Ebene entspricht der C_0/C_{180} -Ebene, die B_0 -Ebene der C_{90}/C_{270} -Ebene.

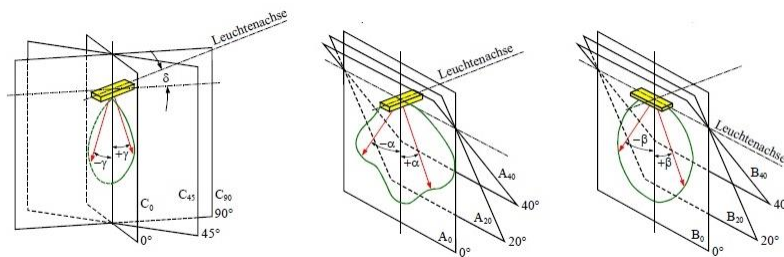


Abbildung 3 Lichtstärkeverteilungskurven für C-, A- und B-Ebenen (Quelle: G.Schenke, Hochschule Emden/Leer, Hilfsblätter zur Beleuchtungstechnik S. 8)

2.1.2.4 Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke definiert das Verhältnis vom auf einer Fläche auftreffenden Licht zur Größe der Fläche. Für die Innenraumbeleuchtung wird sie als Dimensionierungsgröße verwendet. Es gilt für die ebene Fläche

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (2.5)$$

[E]=lx, Einheit Lux

Beispiele für Beleuchtungsstärken	E lx
Wolkenloser Sommertag	100.000
Trüber Wintertag	400
Bürobeleuchtung	500
100 W Glühlampe in 1 m Abstand	110

Tabelle 3 Beispiele für Beleuchtungsstärken (Quelle [Bae-2006])

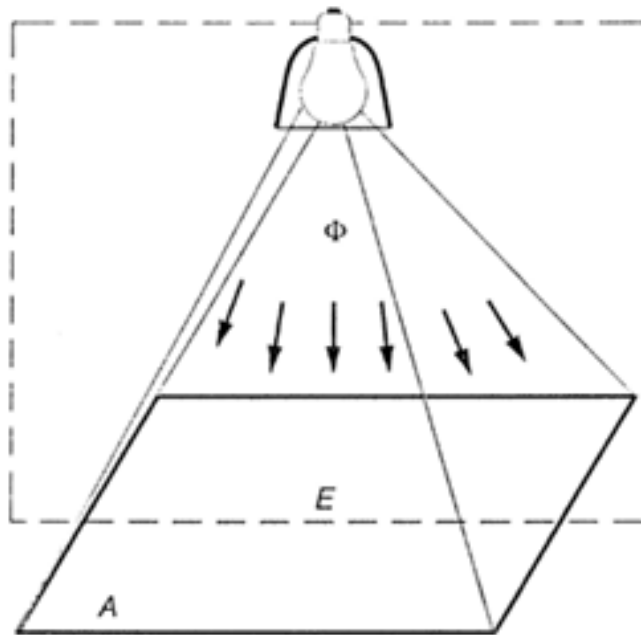


Abbildung 4 Beleuchtungsstärke Quelle: www.leds.com

2.1.2.5 Leuchtdichte

Die Leuchtdichte ist ein Maß für den Helligkeitseindruck im menschlichen Auge, der durch eine leuchtende oder beleuchtete Fläche entsteht. Sie ist die einzige sichtbare lichttechnische Größe. Definiert ist sie als Verhältnis des in einem Lichtbündel geführten Lichtstromes zum Raumwinkel dieses Lichtbündels und zur scheinbaren Fläche des leuchtenden Flächenelementes bezogen auf die Sicht der betrachtenden Richtung.

$$L = \frac{d\Phi^2}{d\omega * dA * \cos \varepsilon} \quad (2.6)$$

Es bedeuten:

$d\Phi$ der im Raumwinkel $d\omega$ abgestrahlte Lichtstrom

$d\omega$ der betrachtete Raumwinkel in einer bestimmten Richtung

dA das betrachtete Flächenelement

ε der Winkel zwischen betrachteter Lichtausstrahlung und der Flächennormale

2.1.3 Beziehungen zwischen den lichttechnischen Größen

Die Umsetzung von Leistung in Licht kann durch eine Reihe von Größen beschrieben werden. Durch die Gegenüberstellung lichttechnischer und physikalischer Größen ergeben sich zum Teil dimensionsbehaftete Wirkungsgrade die nicht der eigentlichen Definition entsprechen.

Lichtausbeute:

$$\eta = \frac{K_m \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \Phi_{e\lambda} * V(\lambda) * d\lambda}{P} \quad (2.7)$$

$[\eta] = \text{lm/W}$

Optischer Nutzeffekt:

$$O = \frac{\int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \Phi_{e\lambda} * d\lambda}{\int_0^\infty \Phi_{e\lambda} * d\lambda} \quad (2.8)$$

Visueller Nutzeffekt:

- für die Gesamtstrahlung

$$V = \frac{\int_0^\infty \Phi_{e\lambda} * V(\lambda) * d\lambda}{\int_0^\infty \Phi_{e\lambda} * d\lambda} = \frac{\Phi}{K_m * \Phi_e} \quad (2.9)$$

- für sichtbares Gebiet:

$$V_s = \frac{\int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \Phi_{e\lambda} * V(\lambda) * d\lambda}{\int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \Phi_{e\lambda} * d\lambda} = \frac{V}{O} \quad (2.10)$$

Maßgeblich für die Anwendung in der Praxis sind die Wirkungsgrade der Leuchten bzw. der lichttechnischen Anlage.

Optischer Leuchtenwirkungsgrad:

$$\eta_L = \frac{\Phi_L}{\Phi_{LA}} \quad (2.11)$$

Φ_L Lichtstrom der die Leuchte verlässt

Φ_{LA} Lichtstrom der in der Leuchte vorhandenen Lampe(n)

Betriebswirkungsgrad:

$$\eta_{LB} = \frac{\Phi_L(t_L)}{\Phi_{LA}(t)} \quad (2.12)$$

$\Phi_L(t_L)$ Lichtstrom der Leuchte bei Leuchtenumgebungstemperatur

$\Phi_L(t)$ Lichtstrom der Lampen in der Leuchte bei vorgegebener Temperatur t

Der Index N kennzeichnet den auf die interessierende Nutzfläche auftreffenden Lichtstrom.

Beleuchtungswirkungsgrad

$$\eta_B = \frac{\Phi_N}{\Phi_{LA}(t)} \quad (2.13)$$

Raumwirkungsgrad

$$\eta_R = \frac{\Phi_N}{\Phi_{LA}(t_L)} \quad (2.14)$$

Es gilt der Zusammenhang:

$$\eta_B = \eta_R * \eta_{LB} \quad (2.15)$$

In Wechselwirkung mit stofflicher Materie können Reflexionen, Transmissionen oder Absorptionen auftreten. Das Verhältnis des Lichtstromes nach der Einwirkung zum auftreffenden Lichtstrom ergibt:

den Reflexionsgrad

$$\varrho = \frac{\Phi_\varrho}{\Phi} \quad (2.16)$$

den Transmissionsgrad

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi} \quad (2.17)$$

und den Absorptionsgrad

$$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi} \quad (2.18)$$

Φ_ϱ reflektierender Lichtstrom

Φ_τ transmittierter Lichtstrom

Φ_α absorbierter Lichtstrom

Φ auftreffender Lichtstrom

Material	Reflexionsgrad
Aluminium, hochglänzend	0,80-0,85
Aluminium, mattiert	0,50-0,70
Weiß	0,70-0,80
Hellgrün, hellrot, hellblau, hellgrau	0,40-0,50
Dunkelgrau, dunkelrot, dunkelblau	0,10-0,20
Beton	0,30-0,50
Ziegel, rot	0,10-0,20

Tabelle 4 Reflexionsgrade verschiedener Materialien (Quelle: [Scho-2014])

Material	Dicke mm	Transmissionsgrad	Reflexionsgrad
Klarglas	1...4	0,90...0,92	0,06...0,08
Trübglass	1...3	0,36...0,66	0,31...0,54
Weißes Gewebe		1,30...0,7	0,30...0,60
Kunststoff (weiß, getrübt)	2...3	0,40...0,60	0,20...0,40

Tabelle 5 Transmissions- und Reflexionsgrade verschiedener Materialien (Quelle: [Bae-2006])

3 Anforderungen an eine gute Beleuchtung

3.1 Lichttechnische Baustoffe, Leuchten und Lichtquellen

3.1.1 Lichttechnische Baustoffe

Der Begriff „Lichttechnische Baustoffe“ umfasst alle Materialien die an der Beleuchtung beteiligt sind. Nach [Hen-2002] beruht die Wirkung dieser Baustoffe auf den 3 Prozessen

- Änderung der Lichtrichtung durch Reflexion und Brechung an Grenzflächen nach den optischen Gesetzen und Streuung durch besondere Oberflächenstrukturen und Inhomogenitäten
- Lichtverluste durch Absorption, hier durchdringt ein Teil des Lichtstromes das Medium und wird in Wärme umgesetzt
- Anregung zum Leuchten durch Photolumineszenz, d. h. die Absorption kurzwelligeren Lichtes

Hauptgruppe		Gruppe				Untergruppe			
Nr.	Benennung	τ %	Nr.	Streuung	σ	γ	Nr.	gerichteter Anteil	Beispiele
1	ausschließlich reflektierende Stoffe	0	1.1	schwach	$\leq 0,4$	$\leq 27^\circ$	1.1.1	nicht merklich	Reflexstoffe, Aluminium matt
							1.1.2	merklich	Glas- und Metallspiegel, Reflexstoffe
			1.2	stark	$> 0,4$	$> 27^\circ$	1.2.1	nicht merklich	metallisierte Bildwände, Tapeten, matte Anstriche
							1.2.2	merklich	Ölfarbenanstrich, Emaille, Lackanstriche
2	schwach durchlassende, vorwiegend reflektierende Stoffe ¹⁾	≤ 35	2.1	schwach	$\leq 0,4$	$\leq 27^\circ$	2.1.1	nicht merklich	Textilien, Kunststoffe
							2.1.2	merklich	durchlässige Spiegel
			2.2	stark	$> 0,4$	$> 27^\circ$	2.2.1	nicht merklich	dichte Gewebe (kleine Gewebeweite), Leuchtschirmpapier
							2.2.2	merklich	Trübgläser (Reflexionsgläser), Lasurlacke auf lichtdurchlässiger Unterlage, getrübe Kunststoffe
3	stark durchlassende Stoffe	> 35	3.1	schwach	$\leq 0,4$	$\leq 27^\circ$	3.1.1	nicht merklich	Mattglas, Ornamentglas, Kunststoffe
							3.1.2	merklich	Gewebe (große Gewebeweite), Cellophan, Klarglas
			3.2	stark	$> 0,4$	$> 27^\circ$	3.2.1	nicht merklich	Trübgläser (Transmissionsgläser), getrübe Kunststoffe
							3.2.2	merklich	Trübgläser, leicht getrübt

¹⁾ Schwach durchlassende Werkstoffe mit kleinem Lichtreflexionsgrad sind wegen ihrer geringen Bedeutung außer Betracht gelassen.

Tabelle 6 Klassifizierung lichttechnischer Baustoffe nach DIN 5036 Teil 4

Transmissions- und Reflexionsgrade verschiedener Materialien wurden bereits in den Tabellen 4 und 5 unter Abschnitt 2.1.3 genannt.

3.1.2 Leuchten

Der Begriff „Leuchte“ wird in vielen Variationen mehr oder weniger umfangreich definiert. [led-2014] schreibt: „Als Leuchte werden die Bauelemente zur Aufnahme der Lampe mit dem Zweck der Lichtstromlenkung, der Blendungsbegrenzung sowie des mechanischen und elektrischen Schutzes, sowie die zur Befestigung und Energieversorgung notwendigen Bestandteile, bezeichnet.“

Eine Einteilung nach DIN 5040 nach Art der Lichtverteilungskurve und nach dem Nutz- und Deckenlichtstromanteil erfolgen. Diese Angaben werden auch in den Datenblättern der Leuchten genannt (siehe Abbildung 10).

Kennbuchstabe	Leuchtenart	Lichtstromanteil	
		im unteren Halbraum	im oberen Halbraum
A	direkt	100 % bis 90 %	0 % bis 10 %
B	vorwiegend direkt	90 % bis 60 %	10 % bis 40 %
C	gleichförmig	60 % bis 40 %	40 % bis 60 %
D	gleichförmig indirekt	40 % bis 10 %	60 % bis 90 %
E	indirekt	10 % bis 0 %	90 % bis 100 %

1. Kennziffer	Nutzlichtstrom im Bereich Φ_{SU}	2. Kennziffer	Nutzlichtstrom im Bereich Φ_{SO}
1	0 % bis 30 %	1	0 % bis 50 %
2	31 % bis 40 %	2	51 % bis 70 %
3	41 % bis 50 %	3	71 % bis 90 %
4	51 % bis 60 %	4	91 % bis 100 %
5	61 % bis 70 %		
6	71 % bis 100 %		

Tabelle 7 Leuchtenarten Nutzlichtstromverteilung nach DIN 5040

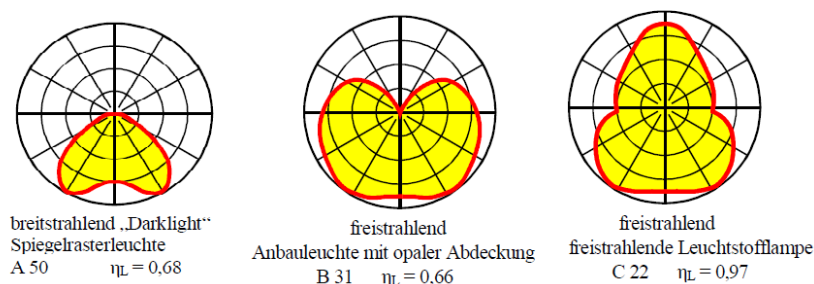


Abbildung 5 Lichtverteilungskurven verschiedener Lampentypen (Quelle: G.Schenke, Hochschule Emden/Leer, Hilfsblätter zur Beleuchtungstechnik S. 75)

Für lichttechnische Berechnungen nicht maßgeblich, jedoch für die Installation in Abhängigkeit der vorhandenen Bedingungen besonders wichtig, ist die Beachtung der Schutzarten nach DIN EN 60529.

IP	Ziffern oder Buchstaben	Bedeutung für den Schutz des Betriebsmittels	Bedeutung für den Schutz von Personen
Erste Kennziffer		gegen Eindringen von festen Fremdkörpern	gegen Zugang zu gefährlichen Teilen mit
	0	kein Schutz	kein Schutz
	1	$\geq 50,0$ mm Durchmesser	Handrücken
	2	$\geq 12,5$ mm Durchmesser	Finger
	3	$\geq 2,5$ mm Durchmesser	Werkzeug
	4	$\geq 1,0$ mm Durchmesser	Draht
	5	staubgeschützt	Draht
	6	staubdicht	Draht
Zweite Kennziffer		gegen Eindringen von Wasser mit schädlicher Wirkung	nicht definiert
	0	Kein Schutz	
	1	senkrecht Tropfen	
	2	Tropfen mit 15° Neigung	
	3	Sprühwasser	
	4	Spritzwasser	
	5	Strahlwasser	
	6	starkes Strahlwasser	
	7	zeitweiliges Untertauchen	
	8	dauerndes Untertauchen	

Tabelle 8 Schutzarten ohne Ergänzende Buchstaben nach DIN EN 60529 (VDE 470 Teil 1) (Quelle: [hea-2014])

3.1.3 Lichtquellen

Eine mögliche Einteilung von Lichtquellen kann nach dem zugrunde liegenden physikalisch-chemischen Prinzip erfolgen. Die erste Unterteilung ist nach dem Aggregatzustand des strahlenden Mediums (fest oder gasförmig) zu treffen. Bei den Festkörperstrahlern wird zwischen lumineszenten und thermischen Typen unterschieden, die gasförmigen Strahler beruhen auf Entladungsvorgängen im ionisierten Gas.

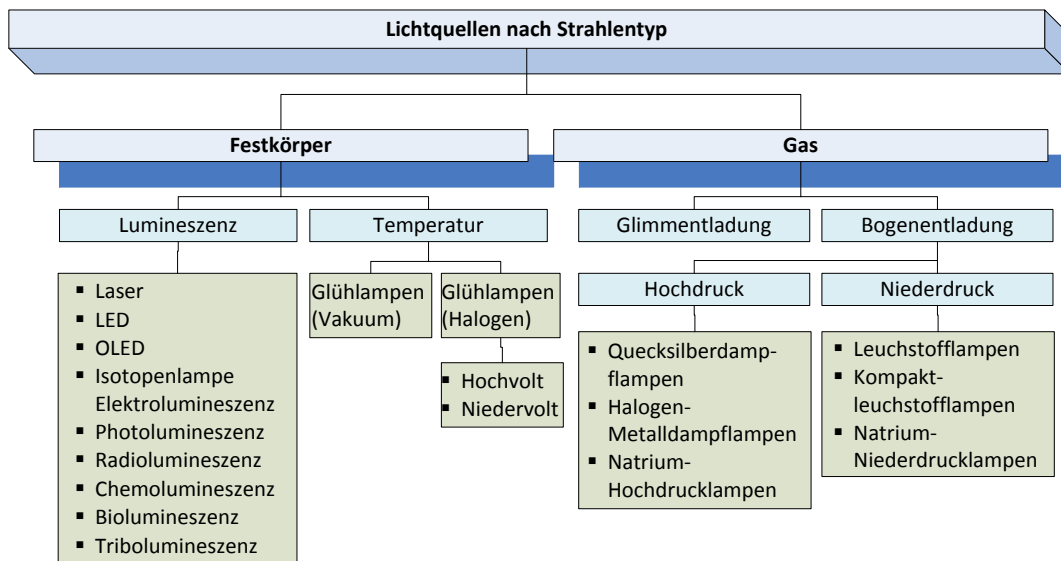


Tabelle 9 Kategorisierung von Lichtquellen

3.2 Lichttechnische Gütemerkmale

Die [DIN EN 12464-1] definiert ähnlich wie die früher gültige [DIN 5035 Teil 1] wesentliche Hauptmerkmale für die Bestimmung des Lichtklimas.

Neben den qualitativen Merkmalen wie Sehkomfort, Sehleistung werden die Hauptmerkmale

- Beleuchtungsstärke
- Leuchtdichteverteilung
- Lichtrichtung
- Lichtfarbe und Farbwiedergabe
- Flimmern
- Tageslicht

als wesentlich für die Bestimmung des Lichtklimas genannt. [DIN 5035 Teil 1] berücksichtigt die Merkmale Flimmern und Tageslicht noch nicht, erwähnt unter 4.1.1 Lichttechnische Gütemerkmale „Nur bei Beachtung aller Gütemerkmale kann eine Beleuchtungsanlage den gestellten Anforderungen genügen“.

3.2.1 Beleuchtungsstärke

Der Begriff der Beleuchtungsstärke wird oft im Zusammenhang mit dem Begriff Beleuchtungsniveau verwendet. Im Wesentlichen geht es darum, wieviel Licht für welche Sehaufgabe erforderlich ist.

Für die Stufung der Beleuchtungsstärke gibt [DIN EN 12464-1] die Werte 20-30-50-75-100-150-200-300-500-750-1000-1500-2000-3000-5000 lx vor. Es wird davon ausgegangen, dass ca. 20 lx benötigt werden, um ansatzweise Gesichtszüge erkennen zu können. Der Faktor 1,5 stellt dabei den kleinsten wahrnehmbaren Unterschied dar, ab dem Veränderungen der Beleuchtungsstärkeveränderungen bemerkbar sind.

Da sich diese Arbeit speziell mit der Beleuchtung von Arbeitsplätzen befasst, gelten die in der [DIN EN 12464-1] festgelegten Werte für die mittlere Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe.

Art des Raumes, Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m in lx
Ablegen, Kopieren, Verkehrszonen	300
Schreiben, Lesen, Datenverarbeitung	500
Technisches Zeichnen	750
CAD-Arbeitsplätze	500
Besprechungsräume	500
Archive	200

Tabelle 10 Ausgewählte Beleuchtungsstärkewerte (Quelle: [DIN EN 12464-1], S. 23)

Neben der Gleichmäßigkeit hat die Beleuchtungsstärke des umgebenden Bereiches eine hohe Bedeutung. Der Wert kann niedriger sein, darf aber die in Tabelle 11 angegebenen Werte nicht unterschreiten.

Diese Werte sind Wartungswerte, die nicht unterschritten werden dürfen.

Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe lx	Beleuchtungsstärke des unmittelbaren Umgebungsbereiches lx
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	E_{Aufgabe}
Gleichmäßigkeit $\geq 0,7$	Gleichmäßigkeit $\geq 0,5$

Tabelle 11 Gleichmäßigkeiten und Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke des unmittelbaren Umgebungsbereiches und der Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe (Quelle: [DIN EN 12464-1], S. 7)

Neben der Gleichmäßigkeit hat die Beleuchtungsstärke des umgebenden Bereiches eine hohe Bedeutung. Der Wert kann niedriger sein, darf aber die in Tabelle 7 angegebenen Werte nicht unterschreiten.

Der Abstand der Berechnungspunkte zur Ermittlung der Gleichmäßigkeit entsprechend [DIN EN 12193] kann nach der Formel

$$p = 0,2 * 5^{\log d} \quad (3.1)$$

p Abstand der Berechnungspunkte (Rastermaß der Teilfläche)

d längste Seite des Bewertungsfeldes (Längen-/Breitenverhältnis 0,5...2,0)

berechnet werden.

3.2.2 Blendung

Blendung wird durch helle Flächen im Gesichtsfeld hervorgerufen und ist nach [DIN EN 12665] als „unangenehmer Sehzustand durch ungünstige Leuchtdichteverteilung oder zu hohe Kontraste“ definiert. Zur Vermeidung von Ermüdung, Fehlern und Unfällen muss Blendung vermieden bzw. begrenzt werden.

Unterschieden wird zwischen psychologischer und physiologischer Blendung. Zu große Leuchtdichteunterschiede oder ungünstige Leuchtdichteverteilungen im Gesichtsfeld können zur psychologischen Blendung (unangenehmes Gefühl) und zur physiologischen Blendung als messbare Herabsetzung der Sehleistung führen.

Zur Bestimmung des Grades der Direktblendung schreibt [DIN EN 12464-1] die Bestimmung nach der Tabellenmethode des CIE Unified Glare Rating Verfahrens (UGR) vor.

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (3.2)$$

Dabei ist:

- L_b die Hintergrundleuchtdichte in $\text{cd} * \text{m}^2$, berechnet als $E_{\text{ind}} * \pi(-1)$ als vertikale Indirektbeleuchtungsstärke am Beobachterauge
- L die mittlere Leuchtdichte in $\text{cd} * \text{m}^2$ der Lichtaustrittsfläche jeder Leuchte in Richtung des Beobachterauges
- ω Raumwinkel in Steradian (sr) der Lichtaustrittsfläche jeder Leuchte, bezogen auf das Beobachterauge
- p der Positionsindex nach Guth für jede einzelne Leuchte abhängig von deren räumlichen Abweichung von der Hauptblickrichtung

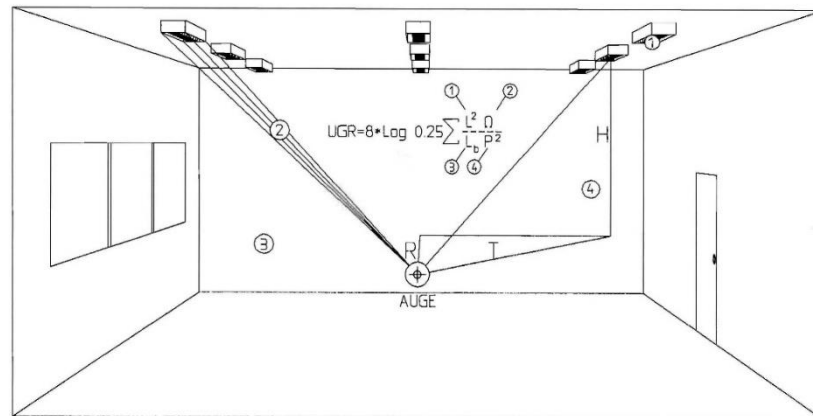


Abbildung 6 Bedeutung der Größen der UGR-Blendformel (Quelle: [Hen-2002], S. 272)

Eine manuelle Berechnung ist heute kaum noch erforderlich. Die UGR-Referenzwerte werden für die betreffenden Leuchten vom Hersteller zur Verfügung gestellt und die Auswertungen mit lichttechnischer Software liefern der jeweiligen Situation entsprechend korrigierte UGR-Tabellen

Die zulässigen UGR-Grenzwerte sind in [DIN EN 12464-1] unter Abschnitt 5 aufgeführt. Für Bildschirmarbeitsplätze wird z. B. ein Wert von 19 festgelegt.

3.2.3 Lichtrichtung und Schattenbildung

Die Anordnung und Auswahl der Leuchten bestimmen die Lichtrichtung und die daraus resultierende Schattenbildung im Raum. Die Schattenbildung soll auf die Sehaufgabe abgestimmt werden. Zu diffuse Beleuchtung und die damit verbundene Schattenarmut wird subjektiv als unangenehm empfunden. Tiefe Schatten mit harten Rändern sind ebenso zu vermeiden.

Durch richtigen Einsatz lassen sich z. B. im gewerblichen Bereich Gefahrenzonen besonders hervorheben. Zur Präsentation von Waren, Exponaten etc. richtig angewendet, wird die Wirkung auf Kunden/Besucher erhöht.

In [DIN 5035 Teil1] wurde noch ein Mindestwert von 0,3 als Verhältnis von zylindrischer Beleuchtungsstärke E_z zu horizontaler Beleuchtungsstärke E_h in 1,20 m Höhe empfohlen. Diese Norm ist aber nicht mehr gültig. Die aktuell geltende DIN EN 12464-1 verzichtet auf die Angabe von Zahlenwerten.

3.2.4 Lichtfarbe und Farbwiedergabe

Die Lichtfarbe der Lichtquellen erzielt bestimmte Farbwirkungen im beleuchteten Raum. Die Wirkung von Licht aus dem rot-gelben Farbtemperaturbereich ≤ 3.300 K der CIE Normfarbtafel wird subjektiv als warm empfunden, der Bereich bis 5.300 K als neutral und

höhere Farbtemperaturbereiche als kalt. Zu einem möglichen Zusammenhang, dass die Kombination aus niedriger Beleuchtungsstärke und gelb-roter Lichtfarbe sowie hohe Beleuchtungsstärke und bläulich-weiße Lichtfarbe als angenehm empfunden wird, gibt es unterschiedliche Annahmen. Während [Bae-2006] auf diesen, allerdings nur schwach ausgeprägten Effekt verweist, wird von [Hen-2002] dazu bewusst keine Verbindung hergestellt.

Bei der in Abbildung 7 dargestellten CIE-Normfarbtafel ist nur die Black-Body-Kurve von technischer Bedeutung. Der Verlauf definiert die Temperatur, die ein schwarzer Strahler annehmen muss um, das gleiche Farbempfinden wie der zu beschreibende Strahler zu erzielen.

Die Farbwiedergabe ist abhängig vom Spektrum der Lampe und vom spektralen Reflexionsgrad der beleuchteten Objekte. Zur Kategorisierung der Lampen dient der Farbwiedergabeindex Ra. Diese dimensionslose Größe kann Werte zwischen 0 und 100 annehmen.

Die Mindestanforderungen für Arbeitsstätten sind in der [DIN EN 12464-1] festgelegt und fordern für z. B. Büros den Wert Ra 90.

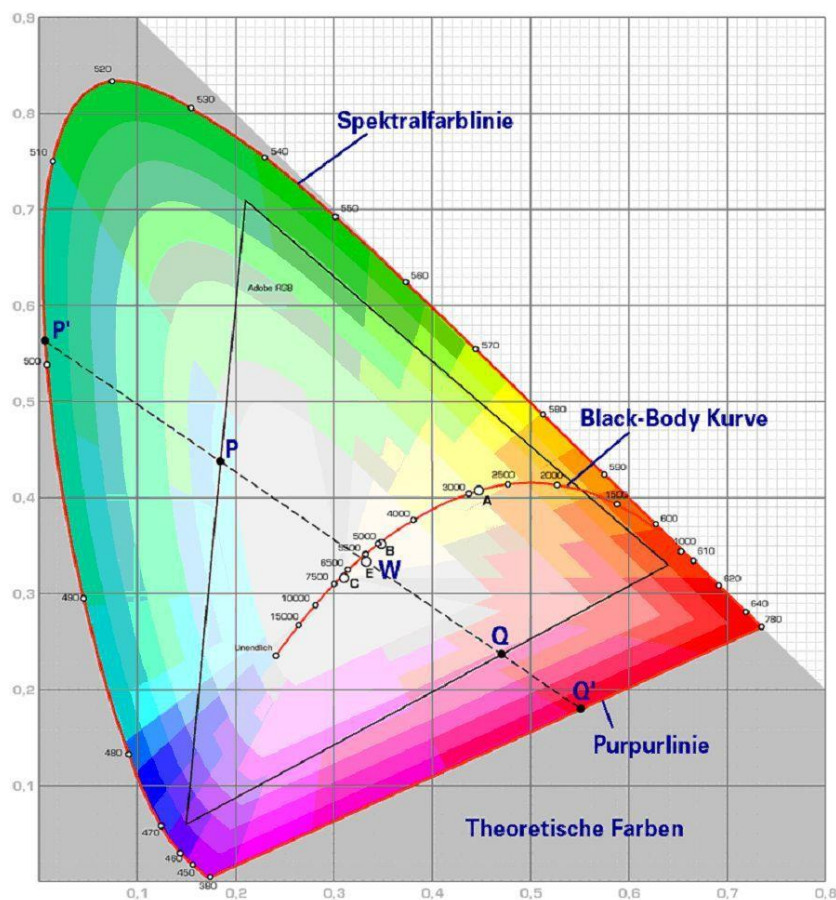


Abbildung 7 CIE-Farbtafel (Quelle: Torge Anders)

Index R _a	Lampe
100	Glühlampe
85...100	Leuchtstofflampe, weiß de Luxe
70...84	Leuchtstofflampe, weiß
70...95	LED, weiß
50...90	Leuchtstofflampe
60...95	Halogen-Metall dampflampe
80...85	Natriumdampf-Hochdruckdampflampe, warmweiß
45	Quecksilberdampf-Hochdrucklampe
18...30	Natriumdampf-Hochdruckdampflampe, Standard
60	Natriumdampf-Hochdruckdampflampe, farbverbessert
44	Natriumdampf-Niederdrucklampe

Tabelle 12 Bereiche für den allgemeinen Farbwiedergabeindex von Lampen (Quelle: [Lüb-2012], S. 125)

3.2.5 Tageslicht

Für das allgemeine Wohlbefinden in Aufenthaltsräumen spielt das Tageslicht eine wesentliche Rolle. Neben einer Sichtverbindung nach außen wird auch an angemessenes Helligkeitsniveau geschaffen.

Für die quantitative Bewertung wird der Tageslichtquotient nach [DIN 5034-1] herangezogen.

$$D = \frac{E_p}{E_a} * 100 \text{ in } \% \quad (3.3)$$

D Tageslichtquotient

E_a Horizontalbeleuchtungsstärke im Freien bei unverbauter Himmelshalbkugel

E_p Beleuchtungsstärke in einem Punkt einer gegebenen Ebene durch direktes/indirektes Himmelslicht

Für Arbeitsräume mit festgelegten Abmessungen fordert [DIN 5034-1] unter 4.3.1.2 auf einer 0,85 m hohen Bezugsebene einen Mittelwert von 0,9 %. Auf die abweichenden Forderungen der Arbeitsstättenverordnung wird im Abschnitt 3.3 noch eingegangen.

3.2.6 Wartungsfaktor

Im Laufe der Betriebszeit nimmt der von der Beleuchtungsanlage abgegebene Lichtstrom bedingt durch Alterung oder Verschmutzung ab. Die normativ genannten Beleuchtungsstärken sind Wartungswerte, die nicht unterschritten werden dürfen. Um die Werte über

einen längeren Zeitraum einhalten zu können, werden bei der Planung von Beleuchtungsanlagen Wartungsfaktoren berücksichtigt.

$$WF = LLWF * LLF * LWF * RWF \quad (3.4)$$

Nach [DIN EN 12665] sind folgende Begriffe definiert:

- WF (Wartungsfaktor) ist das Verhältnis der mittleren Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene nach einer gewissen Benutzungsdauer einer Beleuchtungsanlage zu der mittleren Beleuchtungsstärke, die man unter denselben Bedingungen bei einer neuen Anlage erhält.
- LLWF (Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor) ist das Verhältnis des Lampenlichtstroms zu einem bestimmten Zeitpunkt zum anfänglichen Lampenlichtstrom.
- LLF (Lampenlebensdauerfaktor) ist der Anteil der Gesamtzahl der Lampen, die zu einem bestimmten Zeitpunkt unter festgelegten Bedingungen und einer bestimmten Schaltfrequenz weiterhin betriebsbereit sind.
- LWF (Leuchtenwartungsfaktor) ist das Verhältnis des Betriebswirkungsgrades einer Leuchte zu einem bestimmten Zeitpunkt zum Betriebswirkungsgrad der neuen Leuchte.
- RWF (Raumwartungsfaktor) Verhältnis der Raumbooberflächenreflexionswerte zu einer bestimmten Zeit zu den Anfangsreflexionen.

Referenz-Wartungsfaktor	Referenz-Neuwertfaktor	Anwendungsbeispiel
0,80	1,25	Sehr sauberer Raum, Anlagen mit geringer Nutzungsdauer
0,67	1,50	Sauberer Raum, dreijähriger Wartungszyklus
0,57	1,75	Innen- und Außenbeleuchtung, normale Verschmutzung, dreijähriger Wartungszyklus
0,5	2,00	Innen- und Außenbeleuchtung, starke Verschmutzung

Tabelle 13 Empfohlene Referenz-Wartungsfaktoren (Quelle: [Tri-2004])

Neben der Berechnung nach der o. g. Formel besteht auch die Möglichkeit bei vergleichbaren Kriterien Referenz-Wartungsfaktoren anzuwenden.

In verschiedenen Anwendungen wird für den Referenz-Neuwertfaktor auch der Begriff „Planungsfaktor“ verwendet.

3.3 Forderungen der Arbeitsstättenverordnung

In Deutschland legt die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) fest, welche Anforderungen der Arbeitgeber beim Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten in Bezug auf Sicherheit und Gesundheitsschutz zu beachten hat. In der Verordnung werden Schutzziele und allgemeine Anforderungen festgelegt, detaillierte Vorgaben sind aber nicht enthalten.

Flexible Grundvorschriften lassen Spielraum für angepasste Maßnahmen. Um die Anwendung für Arbeitgeber zu erleichtern, erlässt der „Ausschuss für Arbeitsstätten“ „Arbeitsstättenregeln“ (ASR). Es gilt die sogenannte „Vermutungswirkung“. Bei Anwendung dieser Regeln geht man davon aus, dass die getroffenen Maßnahmen von der Überwachungsbehörde nicht beanstandet werden.

Anforderungen an die Beleuchtung sind in der ASR A3.4 festgelegt. Zur Umsetzung einzelner Schutzziele wurden die berufsgenossenschaftlichen Informationen zur Umsetzung BGI 856 Beleuchtung im Büro und BGI 7007 Tageslicht am Arbeitsplatz als Literaturhinweise aufgenommen.

Zu beachten ist der Hinweis im Inhalt: „Die Anforderungen dieser ASR weichen in Einzelfällen von Normen, insbesondere von DIN EN 12464-1:2003 Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen sowie DIN EN 12464-2:2007 - Teil 2: Beleuchtung im Freien ab. Die DIN EN 12464 Teil 1 und 2 legen Planungsgrundlagen für Beleuchtungsanlagen fest, berücksichtigen aber nicht die Anforderungen, die an Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten bei der Arbeit zu stellen sind.“.

Bei der Planung von Beleuchtungsanlagen für Arbeitsstätten in Deutschland sind deshalb die Anforderungen der ASR A3.4 höher als die der entsprechenden DIN-Normen zu bewerten.

Wesentliche Definitionen/Forderungen der ASR 3.4 für Arbeitsstätten in Gebäuden sind:

- Arbeitsfläche

Ist die Fläche in Arbeitshöhe, auf der die Arbeitsaufgabe verrichtet wird.

- Umgebungsbereich

Bereich, der sich direkt an einen oder mehrere Arbeitsplätze anschließt.

- Ausreichendes Tageslicht

Für Arbeitsplatz wird ein Tageslichtfaktor von mindestens 2% in Raummitte gefordert, für Büros und ähnliche Räume ein Wert von 3 % empfohlen. Dieser Faktor (Formel 3.3) ist das Verhältnis der Beleuchtungsstärke in der Mitte des Innenraumes zur Beleuchtungsstärke vor dem Gebäude, gemessen bei bedecktem Himmel ohne Kunstlicht.

- Beleuchtungsstärken

Die Mindestwerte (für Büroarbeitsplätze 500 lx) sind einzuhalten. Der Wert darf das 0,6-fache der mittleren Beleuchtungsstärke nicht unterschreiten. Der niedrigste Wert darf nicht im Bereich der Hauptsehaufgabe liegen. Im Umgebungsbereich sind mindestens 200 lx, bei Arbeitsplätzen mit ≥ 500 lx sind 300 lx erforderlich.

Hier darf der kleinste Wert das 0,5-fache der mittleren Beleuchtungsstärke nicht unterschreiten.

- Begrenzung von Blendung

Es wird eher allgemein auf die richtige Auswahl und Anordnung von Leuchten und die Vermeidung von Oberflächenreflexionen verwiesen. Quantitative Angaben, z. B. UGR-Grenzwerte, werden nicht gemacht.

- Farbwiedergabe

Der Mindestfarbwiedergabeindex R_a wird festgelegt und darf z. B. in Büros und büroähnlichen Arbeitsbereichen den Wert 80 nicht unterschreiten.

- Orientierende Messung

Zur Auswahl und Prüfung von Beleuchtungseinrichtungen werden Messgeräte mindestens nach Klasse C gemäß DIN 5035 Teil 6, Ausgabe 2006-11 gefordert. Beispielhaft wird die gleichmäßige Verteilung der Messpunkte und konkret die Höhe der Bezugsebenen für horizontale und vertikale Beleuchtungsstärken festgelegt. Für sitzende Tätigkeiten beträgt der Wert E_h 0,75 m und E_v 1,20 m über dem Boden.

4 Lichttechnische Berechnungsmethoden

Die für Räume oder Arbeitsplätze erforderliche Beleuchtungsstärke wird durch die Auswahl des Leuchtentyps sowie Leuchten- bzw. Lampenanzahl realisiert. Für ebene Beleuchtungsstärken kann die Berechnung nach Lichtstrom- und Lichtstärkemethode ermittelt werden.

4.1 Lichtstrommethode

Das Verhältnis des auf einer Nutzebene auftretenden Lichtstromes φ_N zum abgestrahlten Lichtstrom φ der Lampen wird als Beleuchtungswirkungsgrad η_B bezeichnet. Der auftreffende Lichtstrom ist die Summe aus direktem und indirektem, d. h. durch Reflexionen erzeugtem Lichtstrom.

$$\eta = \frac{\varphi_N}{\varphi} = \frac{\varphi_{\text{dir}} + \varphi_{\text{ind}}}{\varphi} \quad (4.1)$$

Die mittlere Beleuchtungsstärke E_m wird nach der Formel

$$E_m = \frac{\varphi_N}{A} \quad (4.2)$$

berechnet. Der o. g. Beleuchtungswirkungsgrad ist ein Produkt aus Raumwirkungsgrad η_R und Leuchtenwirkungsgrad η_L .

$$\eta_B = \eta_R * \eta_L \quad (4.3)$$

Der Leuchtenwirkungsgrad η_L wird Herstellerangaben entnommen oder aus Lichtstärkeverteilungskurven ermittelt. Der Raumwirkungsgrad η_R wird von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Aufteilung der Leuchten
- Lichtstromverteilung der Leuchten
- Abmessungen des Raumes
- Reflexionsgrad der Begrenzungsflächen

Nach [Bae] ist eine gleichmäßige Verteilung der Leuchten in der Leuchtenebene erforderlich. Der gegenseitige Abstand e muss geringer als der Abstand zwischen Leuchte und Nutzebene (Nuthöhe h_N) sein. Eine gemeinsame Berechnung mehrerer Leuchten kann auch nur unter der Annahme erfolgen, dass alle Leuchten und Lampentypen gleich sind.

Die Abmessungen des Raumes (Länge a und Breite b) beeinflussen den Raumindex k .

4.2 Lichtstärkemethode

Die Methode beruht auf der punkweisen Berechnung an Rasterpunkten auf Nutzebene, Wand- und Deckenflächen und setzt die Kenntnis der Lichtstärkeverteilungskurve der zu berechnenden Leuchte voraus. Eine manuelle Berechnung ist nur für punktförmige Lichtquellen mit vertretbarem Aufwand möglich. Nach [Bae] wird $r > 5 d$ (r Entfernung zwischen Lichtquelle und Berechnungspunkt, d größte Ausdehnung der Lichtquelle) als Grenzgröße definiert.

Für die in den meisten Fällen zum Einsatz kommenden Leuchtstofflampen mit größerer Ausdehnung werden die Leuchten in kleinere Teilleuchten zerlegt. Die Nutzebene wird in gleich große Rechtecke, für deren Mittelpunkt nach dem Entfernungsgesetz eine direkte Beleuchtungsstärke berechnet werden kann, aufgeteilt. Die Berechnung der Beleuchtungsstärken auf Decke und Wänden erfolgt analog.

Für die Berechnung vieler Raumpunkte und Leuchten ergibt sich daher ein hoher Rechenaufwand. Für die aktuell zur Verfügung stehende Hardware Software stellt das aber kein Problem mehr dar. Die Programme berechnen Beleuchtungsstärken für alle Raumbegrenzungsflächen, Nutzebenen oder frei definierte Raumzonen. Indirekte Beleuchtungsanteile werden in diese Berechnungen ebenfalls mit einbezogen. Weitere Werte wie die Leuchtdichte der beleuchteten Bereiche, die Schattigkeit oder die Kontrastwiedergabefaktoren an einzelnen Raumpunkten können aus diesen Berechnungen abgeleitet werden.

5 Projekt

5.1 Aufgabe und Zielstellung, Voraussetzungen

Aufgabe des Projektes ist die Anwendung der in Kapitel 4 genannten lichttechnischen Berechnungsmethoden in der Praxis und ein Vergleich der Berechnungsergebnisse.

Beginnend mit einer manuellen Berechnung nach der Wirkungsgradmethode werden alle folgenden Berechnungen mit den Programmen DDS-CAD, Relux, Dialux und den webbasierten Glamox- und Trilux-Anwendungen computergestützt durchgeführt. Alle Berechnungen beziehen sich auf den gleichen Raum. Mit Ausnahme der Glamox-App werden bei allen Anwendungen die gleichen Leuchten verwendet.

Länge/Tiefe	5,84 m
Breite	3,43 m
Raumhöhe	2,57 m
Höhe der Arbeitsebene	0,80 m
Montagehöhe der Leuchte (Pendellänge)	0,50 m
Reflexionsgrade (Decke, Wände, Fußboden)	0,8; 0,8; 0,3
Wartungsfaktor	0,8

Tabelle 14 Raumdaten des Projektes



Abbildung 9 Büro des Projektes

Für die Berechnungen nach der Wirkungsgradmethode werden Inneneinrichtungen nicht berücksichtigt. Das Programm DDS-CAD kann Raumdaten in einem für DIALUX und Relux lesbaren Format exportieren, Inneneinrichtungen können aber nicht als bearbeitbare 3-D Modelle wiedergegeben werden. Diese werden nachträglich eingefügt.

Als zum Einsatz kommende Leuchte wird das Modell Trilux Luceo H UXP-S 235/49 E 03 vorgeschlagen.

Produktinformation Luceo H UXP-S 235/49 E 03
TOC: 4902404

Leuchtentyp
 Hängeleuchte in Einzelausführung. Für 2 Leuchtstofflampen T5 35/49 W.

Anwendungsbereiche
 Für die ansprechende Allgemeinbeleuchtung von Büros, Verkaufsräumen, Ausstellungsräumen, Banken und Schalterhallen.

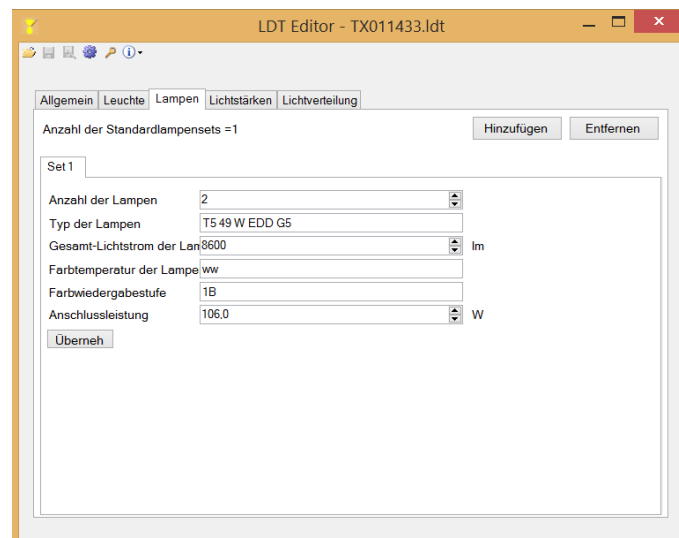
Optisches System
 Mit Niederquerschnittsraster, satiniert. Mit direkt-indirekt strahlender Lichtstärkeverteilung. Mit reflexionsverstärkend beschichteter Silber-Oberfläche., Reflexionsgrad 98%.
 Bildschirmgerecht gemäß EN 12464-1 durch begrenzte Leuchtdichten $L \leq 1500 \text{ cd/m}^2$ für Ausstrahlungswinkel oberhalb 85° rundum.




Farbe: silbergrau (---03)
 Gewicht: 4,9 kg
 Schutzart: IP 20
 Schutzklasse: I
 Glühdrahtfestigkeit: 850 °C
 Schlagfestigkeit: 0,2 J
 DIN 5040: D53
 Sockel: G5
 η_{L8} : 0,95

Abbildung 10 Produktinformation Trilux-Leuchte

Die noch erforderlichen Angaben zum Lichtstrom der Leuchte liegen nur im ELUMDAT-Format vor. Der Wert beträgt 8.600 Lumen. Dieses zum Austausch photometrischer Daten vorgesehene Format ist für lichttechnische Software lesbar. Zur manuellen Auswertung kann z. B. der LDT Editor der Fa. Dial GmbH verwendet werden. Diese Software steht zur kostenfreien Nutzung unter www.dial.de zur Verfügung.



LDT Editor - TX011433.Idt

Alles | Leuchte | Lampen | Lichtstärken | Lichtverteilung

Anzahl der Standardlampensets = 1 Hinzufügen Entfernen

Set 1

Anzahl der Lampen: 2

Typ der Lampen: T5 49 W EDD G5

Gesamt-Lichtstrom der Lampe: 8600 lm

Farbtemperatur der Lampe: ww

Farbwiedergabestufe: 1B

Anschlussleistung: 106,0 W

Übernehmen

Abbildung 11 ELUMDAT-Daten der Trilux-Leuchte

5.2 Manuelle Berechnung nach der Wirkungsgradmethode

Für die Berechnung sind folgende Schritte notwendig:

- Ermittlung des Raumindex k

Die Berechnung muss nach der Formel

$$k = \frac{a * b}{h * ((a + b))} \quad (5.1)$$

a Länge/Tiefe

b Breite

h Abstand zwischen Nutzenebene und Leuchtenebene

erfolgen.

$$k = \frac{5,85 \text{ m} * 3,45 \text{ m}}{1,27 \text{ m} (5,84 \text{ m} + 3,43 \text{ m})} = 1,71$$

- Auswahl des Beleuchtungswirkungsgrades

es können die Reflexionsgrade von Decke, Wand und Boden sowie zu den Lichtverteilungskurven der Leuchten berücksichtigt werden.

Nach Tabelle 4, Seite 17 ergibt das für eine weiße Decke, weiße Wände und dunkelblauen Fußboden die Werte:

$$\rho_D = 0,8, \rho_W = 0,8, \rho_B = 0,3$$

Die ausgewählte Leuchte Trilux Luceo H UXP-S 235/49 E 03 hat die Kennzeichnung D 53. Der Leuchtenlichtstrom ϕ_U für den unteren Halbraum der Leuchte liegt mit 0,38 (Abbildung 54) im Bereich von 40 % bis 10 % (siehe Tabelle 7).

Beleuchtungsart	Relativer unterer halbräumlicher Lichtstrom der Leuchte ϕ_U	Raumwirkungsgrad η_R									
		Raumindex k									
		0,6	0,8	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5
direkt	$\geq 0,7$	0,48	0,59	0,67	0,76	0,82	0,89	0,94	0,98	1,02	1,05
direkt/indirekt	$0,1 \leq \phi_U < 0,7$	0,23	0,30	0,36	0,43	0,48	0,56	0,62	0,67	0,73	0,77
indirekt	$< 0,1$	0,17	0,23	0,29	0,36	0,41	0,48	0,53	0,57	0,62	0,65

ANMERKUNG: Zwischenwerte für den Raumindex können interpoliert werden.

Tabelle 15 Raumwirkungsgrade η_R als Funktion der Beleuchtungsart und des Raumindex (Quelle: [DIN V 18599-4])

Für den ermittelten Raumindex $k = 1,71$ ergibt das durch Interpolation einen Raumwirkungsgrad von 0,51.

Dieser Tabelle liegen zwar abweichende Reflexionswerte zugrunde ($\rho_D = 0,7$, $\rho_W = 0,7$, $\rho_B = 0,2$), jedoch wird in [DIN V 18599-4] S. 22 ausdrücklich darauf hingewiesen: „Die Werte dürfen zur Verfahrensvereinfachung auch für abweichende Reflexionsgrade angesetzt werden.“

Tabelle 15 gibt den Raumwirkungsgrad aber nur für grobe Bereiche wieder. Die Art der Montage, Decke oder Pendel wird nicht berücksichtigt, abweichende Reflexionsgrade stehen nicht zur Verfügung. Nach den allgemein anerkannten Tabellen der LiTG-Publikation 3.5 [LiTG-1988], Seite 84 (Anlage 1) beträgt der Raumwirkungsgrad für eine ähnliche Leuchte des Typs C 42, Pendelmontage ca. 86 %. Mit Tabelle 15 berechnet, beträgt der Werte aber ebenfalls 51 %. Für die weitere Berechnung wurde deshalb der Raumwirkungsgrad nach LiTG-Publikation 3.5 verwendet. Für die Leuchtenart D 53 steht leider keine Tabelle zur Verfügung, das Berechnungsergebnis kann deshalb nur ein Näherungswert sein.

Für die Ermittlung des Beleuchtungswirkungsgrades η_B nach Formel 2.13 muss noch der Leuchtenwirkungsgrad η_{LB} den Herstellerangaben (Abbildung 10) entnommen werden.

Somit ergibt sich der Beleuchtungswirkungsgrad

$$\eta_B = 0,84 * 0,95 = 0,8$$

- Die Berechnung des erforderlichen Gesamtlichtstromes erfolgt nach der Formel

$$\Phi_N = \frac{E_N * A * p}{\eta_B} \quad (5.2)$$

Φ_N Nutzlichtstrom, Einheit Lumen [lm]

E_N Beleuchtungsstärke auf Nutzebene

A Fläche der Nutzebene

P Planungsfaktor (1/Wartungsfaktor)

$$\Phi_N = \frac{500 \text{ lx} * 20,18 \text{ m}^2 * 1,25}{0,8} = 15.766 \text{ lm}$$

- Anzahl der erforderlichen Leuchten

Der Lampenlichtstrom der Trilux-Leuchte beträgt 8.600 lm.

$$\frac{15.766 \text{ lm}}{8.600 \text{ lm}} = 1,83$$

5.2.1 Berechnungsergebnisse

Die Berechnung ergibt gerundet die Anzahl von 2 Leuchten. Die zu installierende elektrische Leistung 212 W.

5.3 Raumkonstruktion und computergestützte Berechnung mit DDS-CAD

5.3.1 Softwarebeschreibung

Das Programm DDS-CAD der Firma Data Design System GmbH ist eine modulare Softwarelösung die zur Planung von Heizungs-, Sanitär-, Klima-, Lüftungs- und Elektrotechnik sowie Solaranlagen eingesetzt wird. Mit dem Programm lassen sich Projekte der Haus- und Gebäudetechnik planen, berechnen und simulieren.

Allen Modulen gemeinsam ist das Kernmodul „Building“. Es ermöglicht die maßstabsunabhängige Konstruktion von Gebäuden und Räumen in 2D und 3D. Über standardisierte Schnittstellen ist der Datenaustausch mit anderen Softwarelösungen möglich.

Das hier zum Einsatz kommende Modul Elektrotechnik beherrscht vielfältige Anforderungen der Installations- und Verteilerplanung und bietet die Möglichkeit einer integrierten Lichtberechnung nach der Wirkungsgradmethode. Es besitzt Schnittstellen zu den Programmen Dialux und Relux. Diese Schnittstellen haben aber die Einschränkung, dass nur Raumdaten zur Berechnung übernommen werden. Hinzugefügte Objekte (Möbel usw.) werden dargestellt, um bei der Berechnung in den jeweiligen Programmen berücksichtigt zu werden, müssen diese Objekte aber mit der jeweiligen Software neu hinzugefügt werden.

5.3.2 Raumkonstruktion

Grundlage sind die in Tabelle 14 angegebenen Raumdaten.

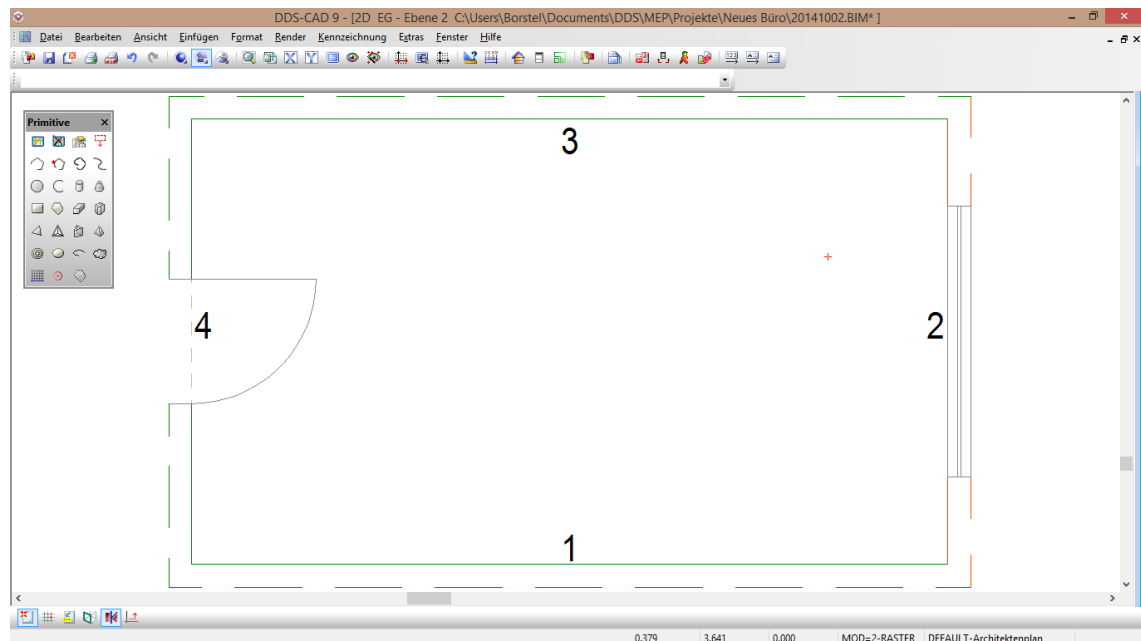


Abbildung 12 DDS-CAD, Grundriss

Die Zeichnung erfolgt als 2D Grundriss, das Modell lässt sich aber in jedem Entwicklungsstadium als 3D-Modell wiedergeben. Als Ergebnis entsteht der Raum mit Tür und Fenster.

Angaben zu Höhen und Maße von Fenstern, Türen und anderen Bauelementen können über Untermenüs (rechte Maustaste/Eigenschaften) einfach ergänzt bzw. verändert werden.

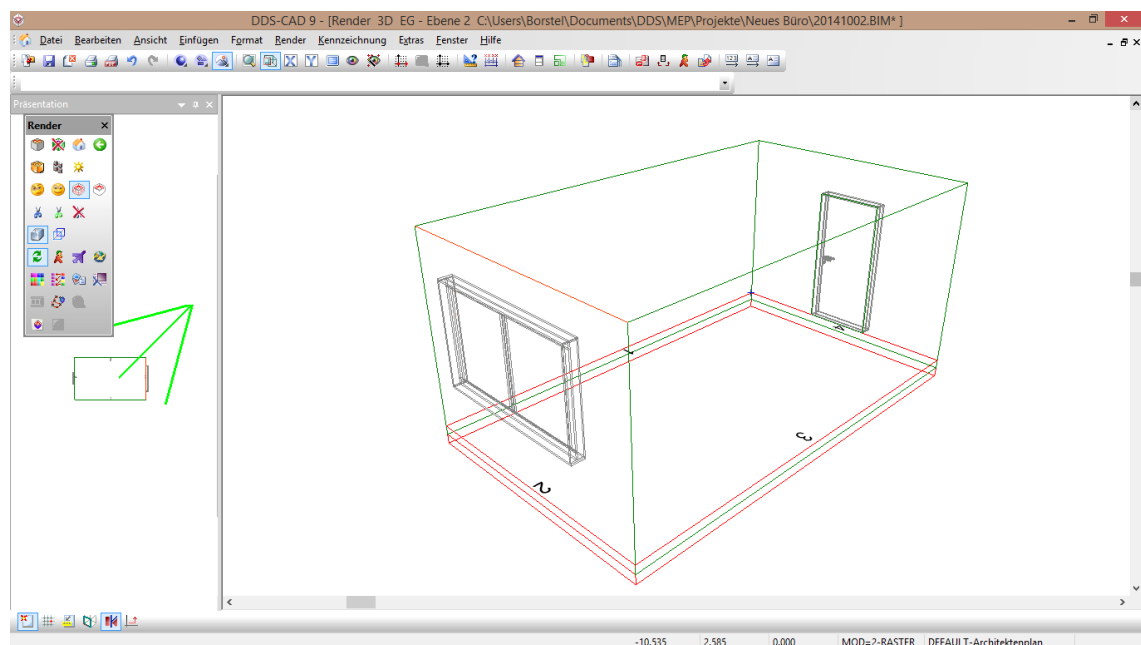


Abbildung 13 DDS-CAD, 3D-Raummodell

Weitere Objekte, z. B. Möbel oder bauliche Besonderheiten (Nischen, Säulen etc.) können eingefügt werden, sind aber nur dekorativ. Bei der Berechnung nach der Wirkungs-

gradmethode finden sie keine Berücksichtigung. Die Einschränkungen beim Datenexport wurden bereits erörtert.

5.3.3 Lichttechnische Berechnung nach der Wirkungsgradmethode

Für die Durchführung der lichttechnischen Berechnung ist es notwendig im Projektmanager in das Elektrotechnik-Modul zu wechseln.

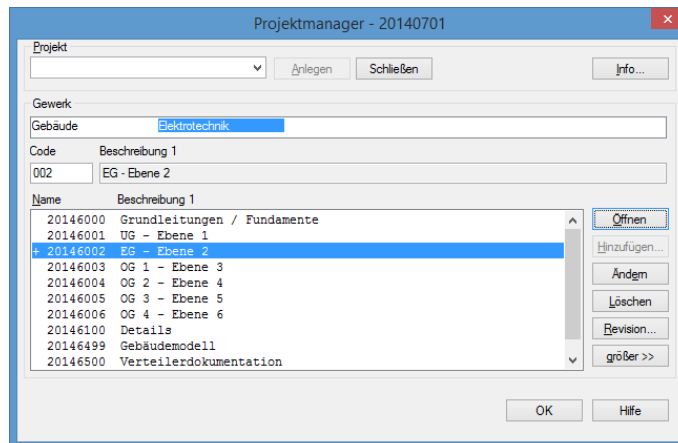


Abbildung 14 DDS-CAD, Projektmanager

Im Menü wird der Berechnungsmodus aktiviert.

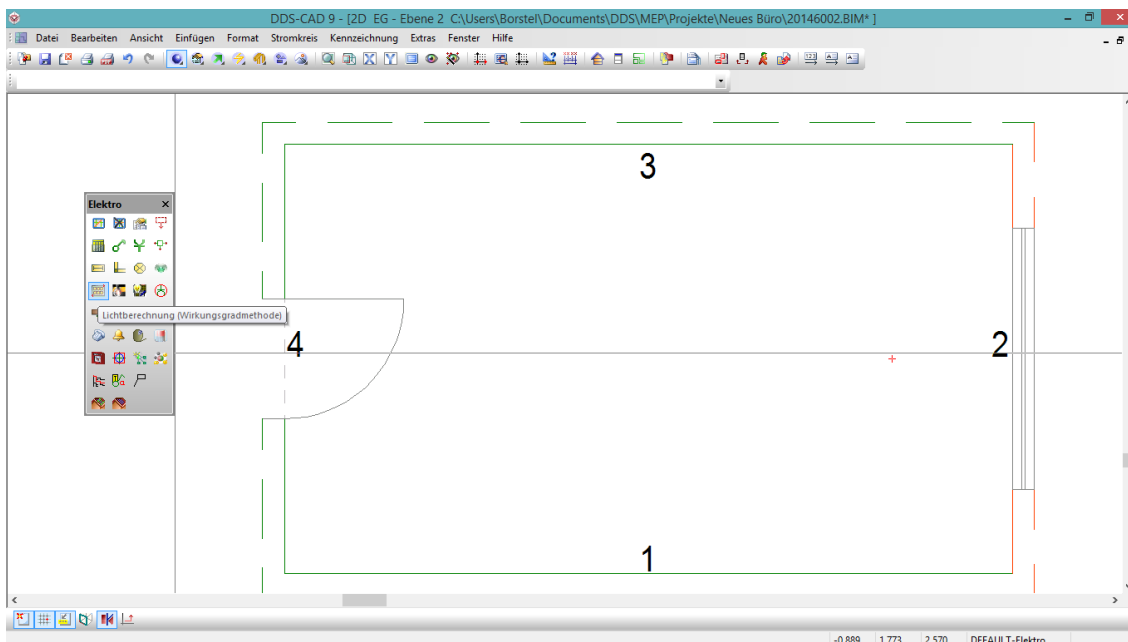


Abbildung 15 DDS-CAD, Start Lichtberechnung

Die Eingabe von Reflexionsgraden, Wartungsfaktor, Arbeitshöhe und Beleuchtungsstärke muss im nächsten Schritt noch vorgenommen werden. Die Auswahl der Reflexionsgrade ist nur eingeschränkt möglich. Die Werte des Projektes ((80-80-30) standen nicht zur Verfügung.

Assistent für die Lichtberechnung nach der Wirkungsgradmethod...

Raumdaten

Raum bzw. Fläche

Beschreibung: Allgemein

Nummer: 001

Länge: 5.85 m Fläche: 20.1825 m²

Breite: 3.45 m Arbeitshöhe: 0.8 m

Höhe: 2.57 m Beleuchtungsstärke: 500 lx

Reflexionsf. (D/W/B): 80 - 50 - 30

Wartungsfaktor: 0.80 Sehr sauber

<< Zurück Weiter >> Abbrechen

Abbildung 16 DDS-CAD, Ergänzungen zu den Raumdaten

Zur Berechnung ist noch die Auswahl des Leuchtentypes erforderlich. Der Wert des Lichtstromes ist gegebenenfalls zu korrigieren, Ausrichtung und Pendellänge müssen festgelegt werden.

Assistent für die Lichtberechnung nach der Wirkungsgradmethod...

Artikeldaten

Artikel

☒ LS-Pendelleuchte mit Raster für BAP 2x49W (T5) ...

☐ Lichtstrom: 8600 lm ☒ In Stückliste

Leuchtentyp: C4, allseitig strahlend - Lamellenraster

Ausrichtung

☒ ☐ Winkel: 90

Montage

Decke: 2.57

Pendel

Pendellänge: 0.5 m

<< Zurück Weiter >> Abbrechen

Abbildung 17 DDS-CAD, Auswahl der Leuchten

Die Berechnungsergebnisse stehen jetzt zur Prüfung zur Verfügung. Es besteht die Möglichkeit die Leuchtenanzahl und Referenzpunkte zur Montage durch manuelle Eingaben zu ersetzen.

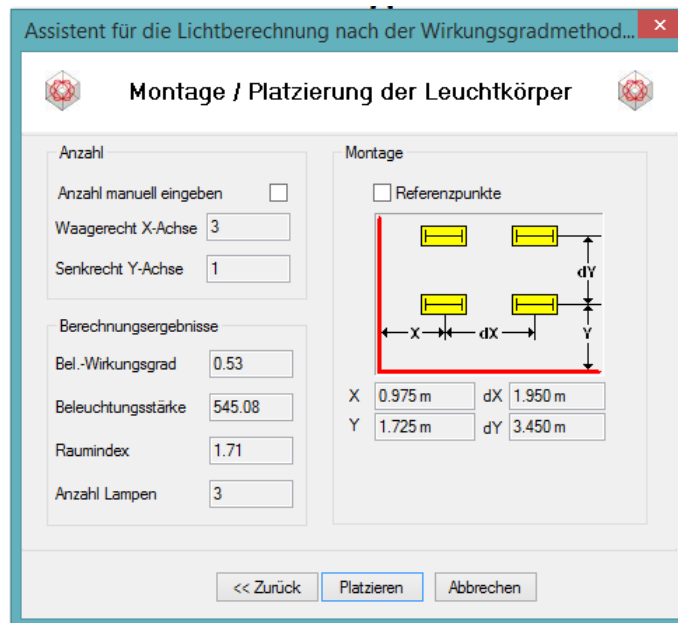


Abbildung 18 DDS-CAD, Berechnungsergebnisse

Als abschließendes grafisches Ergebnis werden die Leuchten in berechneter Anzahl und Anordnung im Raum ausgegeben.

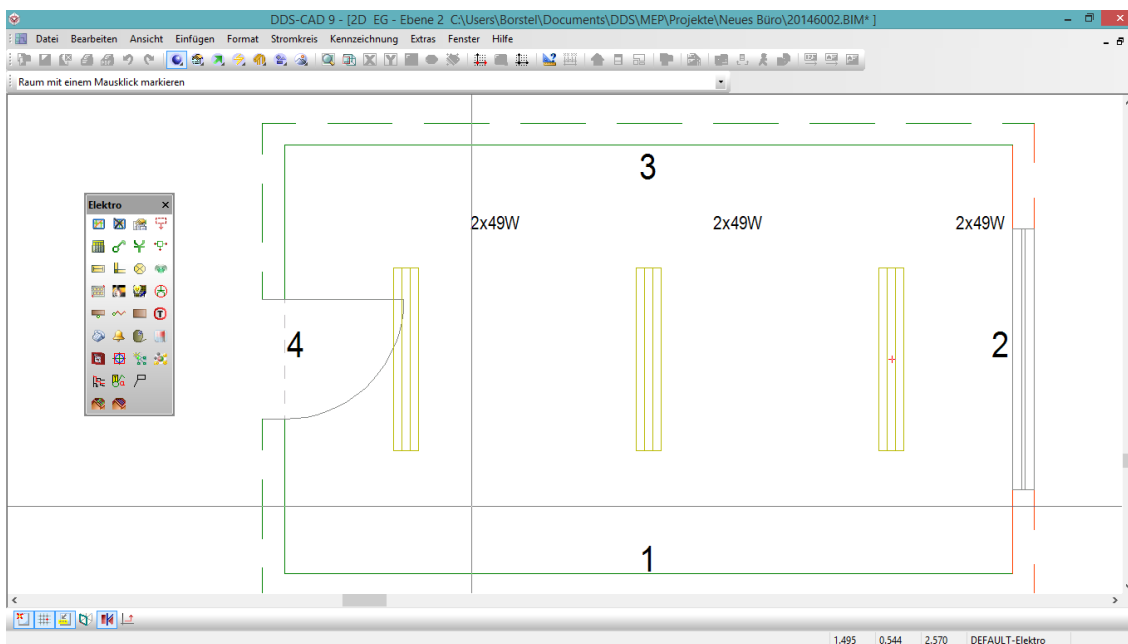


Abbildung 19 DDS-CAD, grafische Darstellung Berechnungsergebnis

Die Raumdaten können später direkt aus DDS-CAD über eine Schnittstelle als STF-Datei an Dialux oder Relux übergeben werden.

5.3.4 Berechnungsergebnisse

DDS-CAD berechnet für die Nutzebene eine mittlere Beleuchtungsstärke E_m von 545 lx. Weitere Angaben z. B. zu Gleichmäßigkeit und Blendung stehen nicht zur Verfügung. Die installierte elektrische Leistung beträgt 318 W.

5.4 Softwarebasierende Berechnung mit Relux

5.4.1 Softwarebeschreibung

Relux ist eine professionelle 3D-Grafiksoftware zur Lichtplanung im Innen- und Außenbereich. Anbieter ist die Relux Informatik AG mit Sitz in Basel, Schweiz.

Durch die Beiträge der Mitglieder (Leuchtenhersteller) kann diese Software kostenlos bzw. werden verschiedene Tools gegen geringes Entgelt zur Verfügung gestellt. Für das Projekt wurde ReluxPro in der Version 2014.1.2.0 verwendet.

5.4.2 Raumkonstruktion und Datenimport

Die Konstruktion eines neuen Raumes kann mit dieser Software ebenfalls ähnlich wie im DDS-CAD auf Grundlage der vorhandenen Raumdaten erfolgen. Relux ist ebenfalls in der Lage die von CAD-Programmen verwendeten dwg- bzw. dxf-Datenformate zu lesen.

Erfolgte die Raumkonstruktion im DDS-CAD, können die Daten im für Relux lesbaren asc-Datenformat exportiert werden. Ein Reimport von Leuchtendaten und Berechnungsergebnissen ist ebenfalls möglich. Relux übernimmt die Raumdaten. Die Darstellung ist als 2D- oder 3D-Modell möglich.

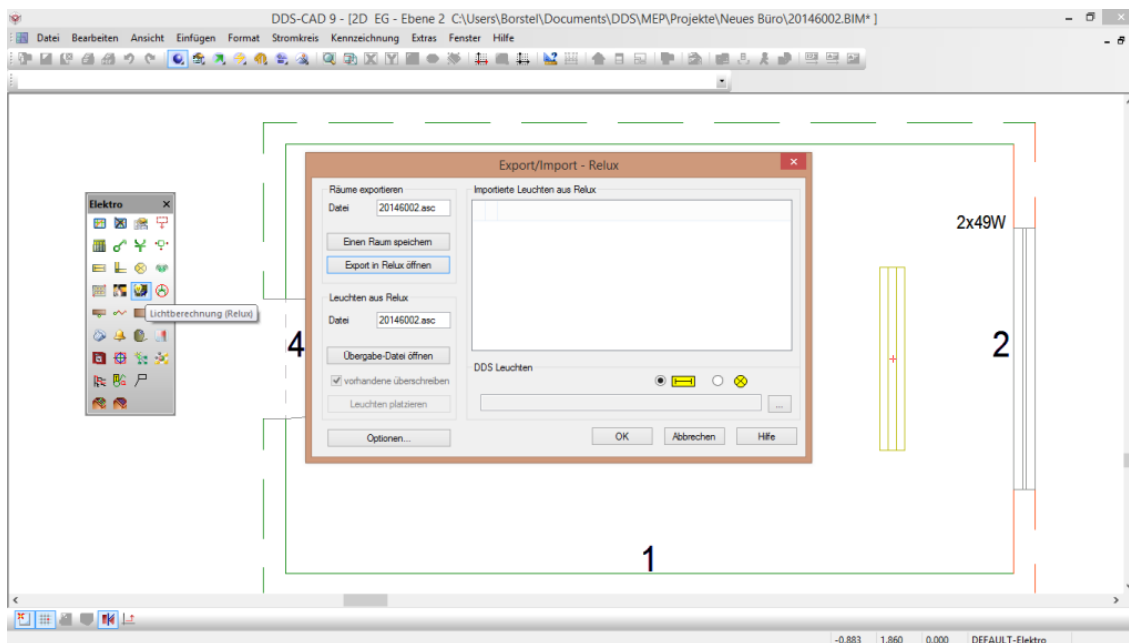


Abbildung 20 DDS-CAD, Datenexport zu Relux

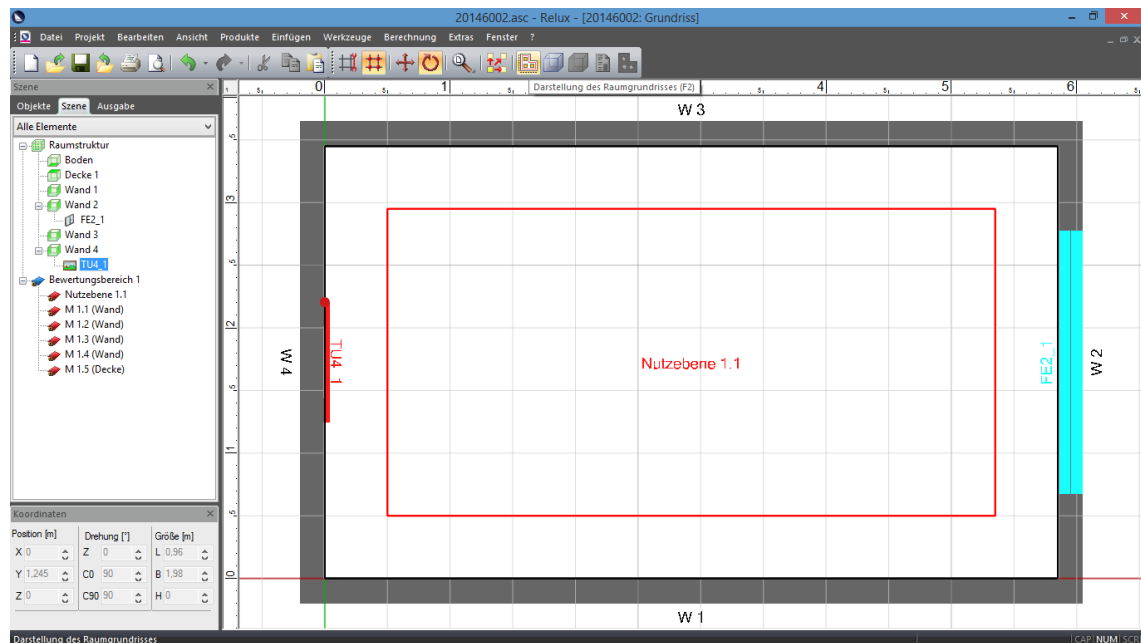


Abbildung 21 Relux, aus DDS-CAD übernommene Raumdaten, 3D-Darstellung

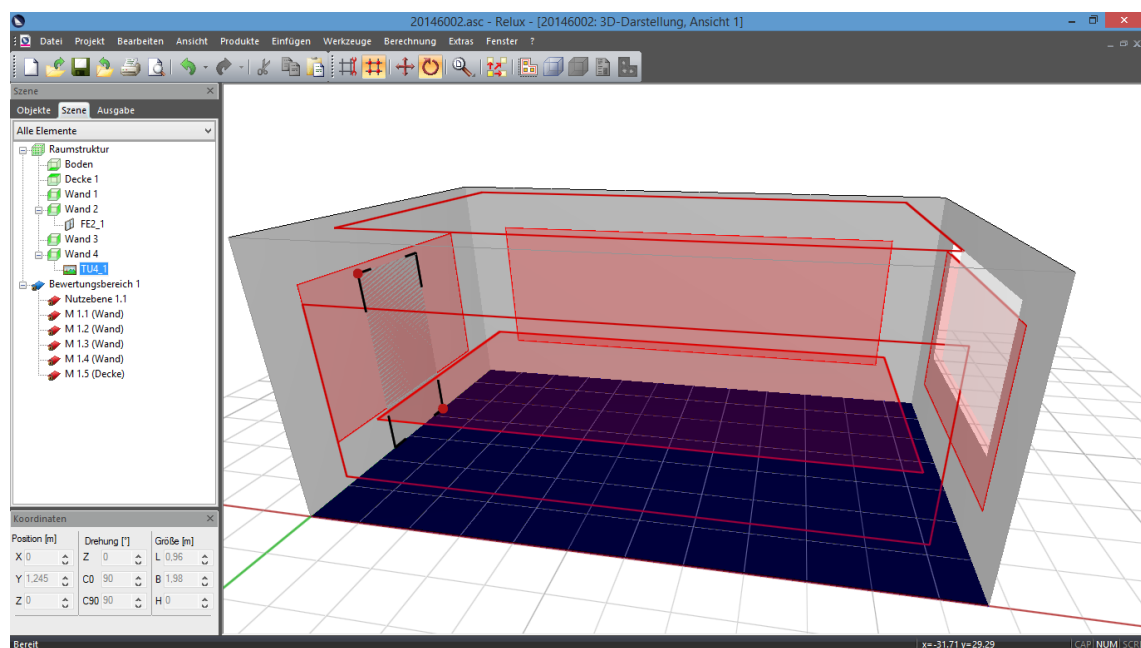


Abbildung 22 Relux, aus DDS-CAD übernommene Raumdaten, 2D-Darstellung

Für Decke, Fußboden und Wände können verschiedene Farben und Materialien ausgewählt und auch die Reflexionsgrade angepasst werden.

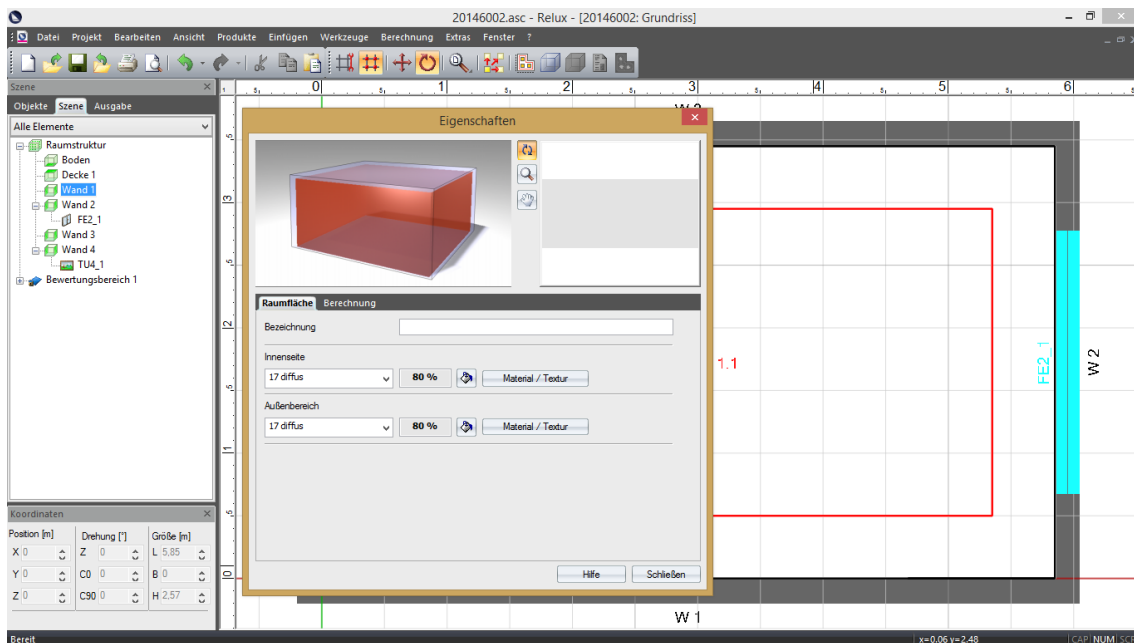


Abbildung 23 Relux, Anpassung Reflexionsgrade

Für die Beleuchtungsberechnung ist jetzt die Auswahl und Anordnung der Leuchten erforderlich. Die Leuchtdaten können über den Leuchtenkatalog oder einen manuellen Download in das Programm eingefügt werden.

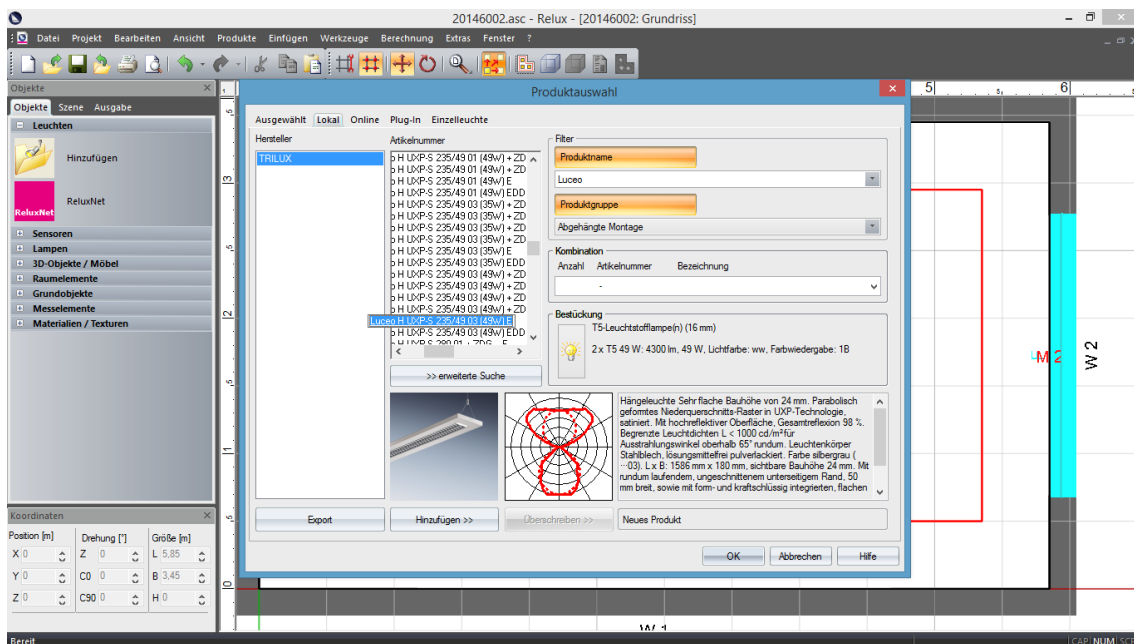


Abbildung 24 Relux, Import von Leuchtdaten

5.4.3 Berechnung

Relux verfügt mit der EasyLux-Funktion über die Möglichkeit, die notwendige Anzahl der ausgewählten Leuchten unter Berücksichtigung der vorgegebenen Beleuchtungsstärke

Die Berechnung wird im Berechnungsmanager aktiviert. Für den gewählten Lampentyp wurde ein mittlerer Indirektanteil ausgewählt.

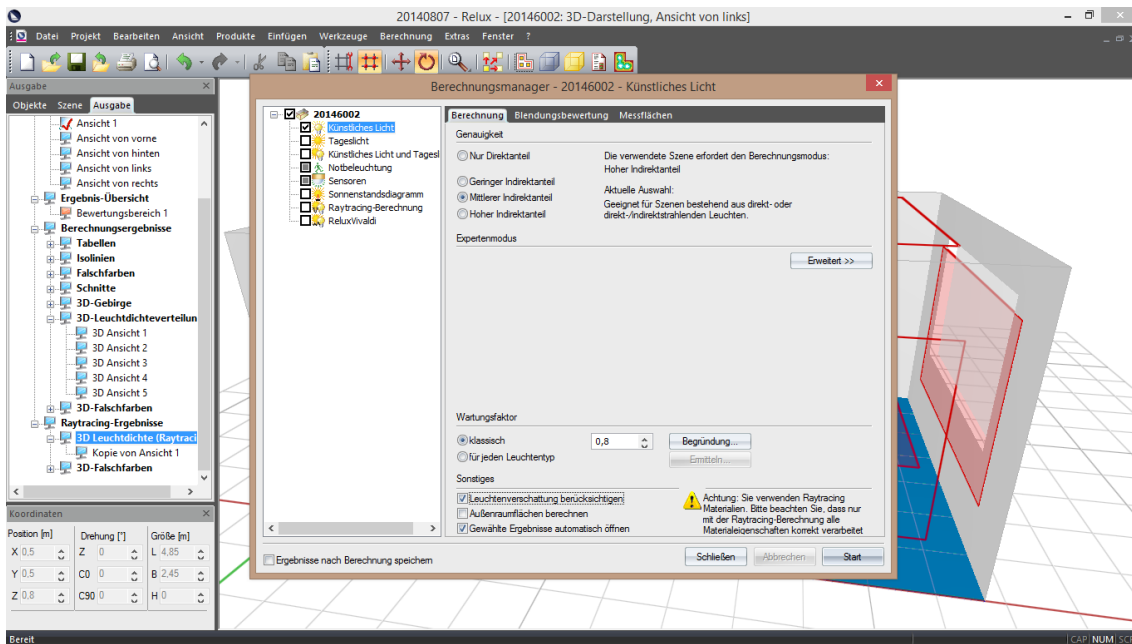


Abbildung 27 Relux, Berechnungsmanager

Die Berechnungsergebnisse stehen visualisiert und tabellarisch als Übersicht zur Verfügung.

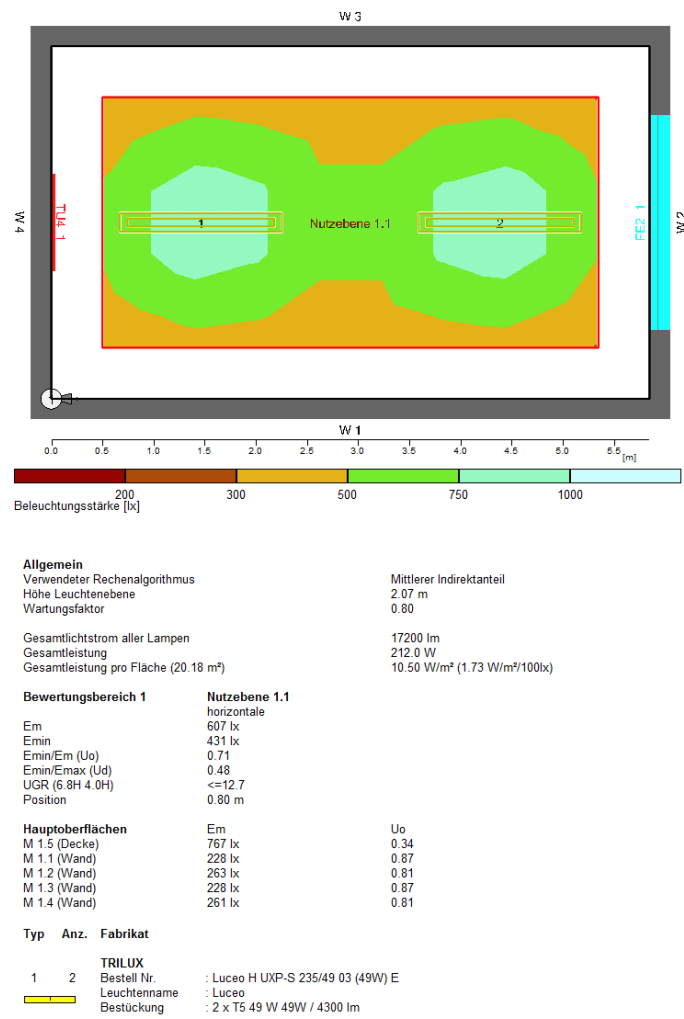


Abbildung 28 Relux, Übersicht Berechnungsergebnisse

Eine umfassende Ausgabe der Ergebnisse ist möglich und kann im Ausgabemenü detailliert ausgewählt werden.

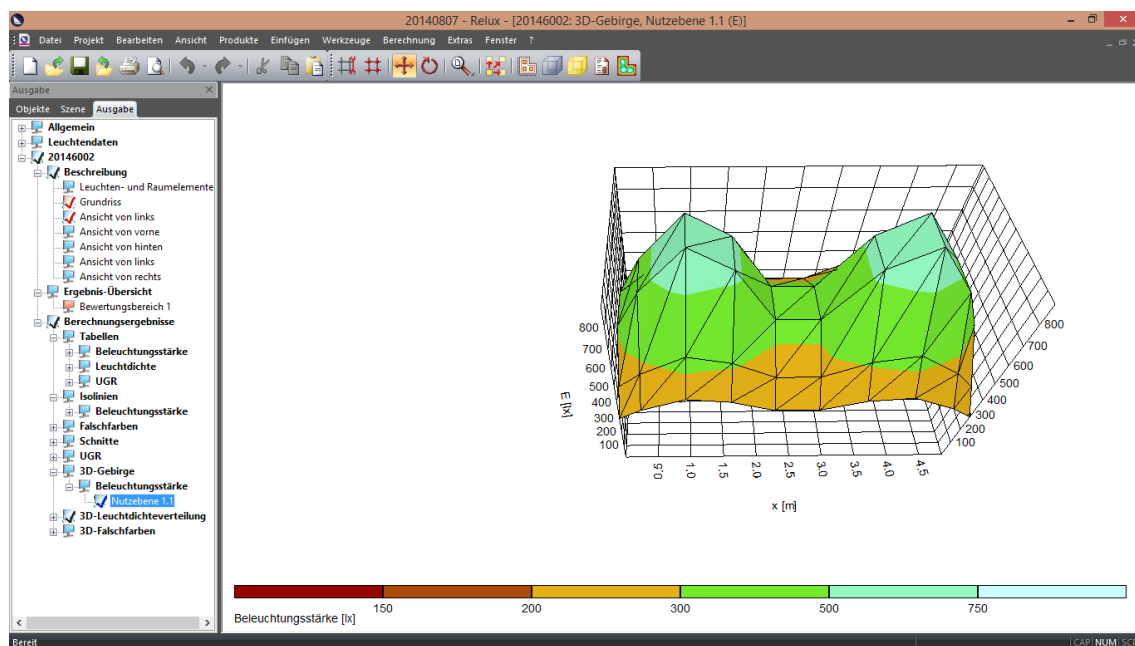


Abbildung 29 Relux, Ausgabemenü

5.4.4 Berechnungsergebnisse

Relux berechnet für die Nutzebene eine mittlere Beleuchtungsstärke E_m von 607 lx bei einem Minimalwert E_{min} von 431 lx. Die Gleichmäßigkeit g_1 beträgt 0,71. Es wird ein UGR-Wert (6.8H 4.0H) von ≤ 12.7 erreicht. Eine Auswertung der UGR-Tabelle kann nicht erfolgen, da die dargestellte y-Achse nicht eindeutig (Raumbreite oder –Höhe) zugeordnet werden kann.

[m]	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
1.6	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
1.2	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
0.8	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
0.4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
0.0	16.2	[20.4]	17.6	<10	<10	17.7	[20.4]	16.2
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
	[m]							
Höhe der Bezugsebene : 1.20 m								
Aus Richtung : Nord (0°)								
Minimal : <10								
Maximal : 20.4								

Tabelle 16 Relux, UGR-Tabelle

Die installierte elektrische Leistung beträgt 212 W bei einem Gesamt-Leuchtenlichtstrom in Höhe von 16.600 lm.

Die umfassende Auswertung der Berechnungsergebnisse ist als Anlage 2 beigelegt.

5.5 Softwarebasierende Berechnung mit Dialux

5.5.1 Softwarebeschreibung

Unter dem Namen Dialux werden Programme zur lichttechnischen Berechnung von Innen- und Außenbeleuchtung der Fa. Dial GmbH angeboten. Dial wurde vor über 20 Jahren als Zusammenschluss der Leuchtenindustrie gegründet. Die Partner nutzen die kostenlos zur Verfügung stehende Software, um Anwendern ihre elektronischen Leuchtendaten im Rahmen dieser Anwendung auch offline zur Verfügung zu stellen.

Neben vielfältigen Möglichkeiten zur Planung, Berechnung und Visualisierung von Leuchten und Tageslicht ist Dialux in der Lage, Gebäude- und Raumdaten über verschiedene Schnittstellen zu importieren. Die Konstruktion von Gebäuden bzw. Räumen in Dialux selbst ist ebenfalls möglich.

Für das Projekt wurde aufgrund vorhandener Erfahrungen Dialux in der Version 4.12 verwendet. Alternativ steht auch Dialux evo in Version 3.3 zur Verfügung.

5.5.2 Raumkonstruktion und Datenimport

Die Konstruktion des Raumes kann, ähnlich wie im DDS-CAD, anhand der vorhandenen Raumdaten (Tabelle 14) erfolgen. Alternativ stehen im Gebäudemodell verschiedene Schnittstellen zum Datenaustausch zu Verfügung.

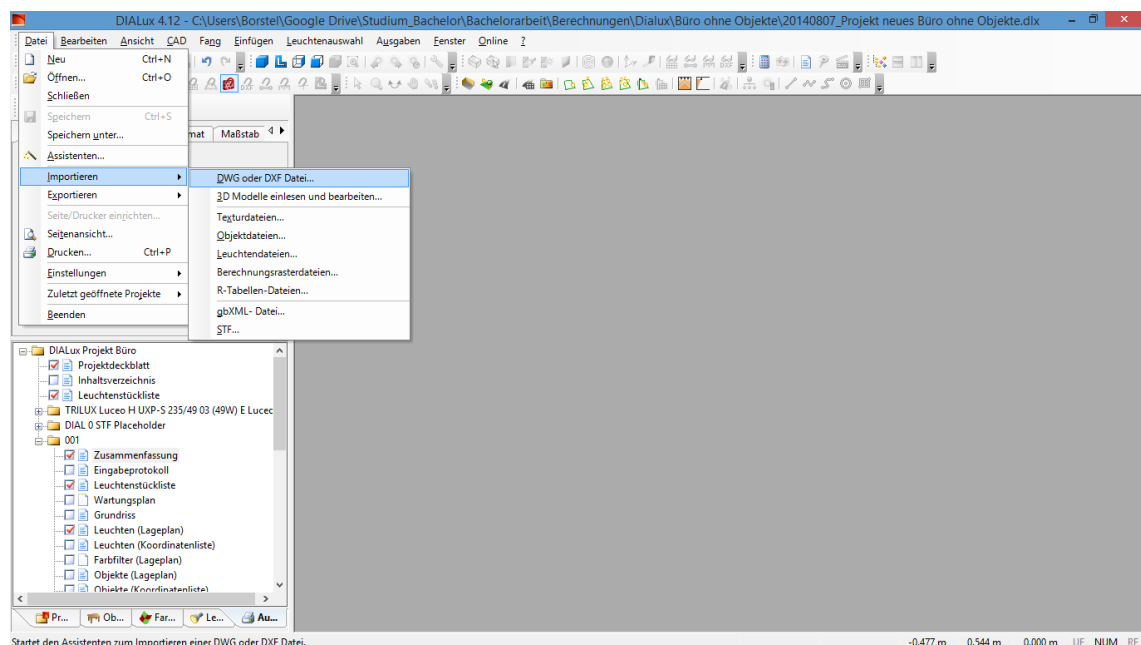


Abbildung 30 DDS-CAD, Datenexport

Wurde im DDS-CAD Elektrotechnik-Modul bereits eine Lichtberechnung nach der Wirkungsgradmethode durchgeführt, kann ein Datenexport zu Dialux auch über die STF-

Schnittstelle erfolgen. Diese bidirektionale Schnittstelle ermöglicht es, Dialux Daten des Rohbaus zu übernehmen. Nach Abschluss der Planung können Leuchtdaten und Berechnungsergebnisse wieder in das CAD-Programm übergeben werden.

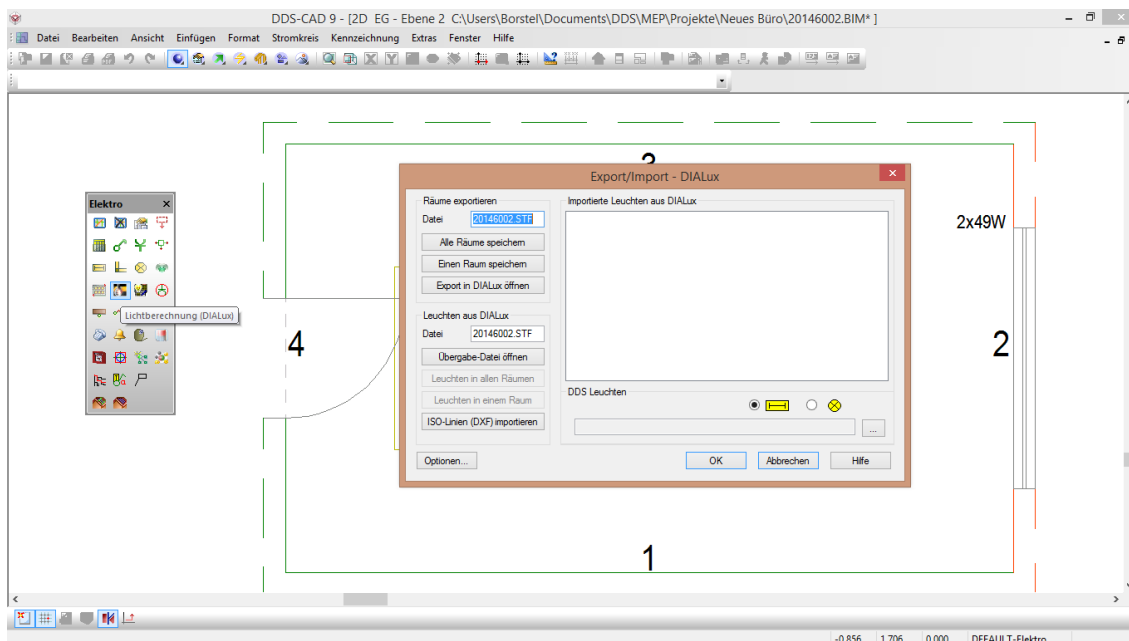


Abbildung 31 DDS-CAD, Dialux-STF-Schnittstelle

Dialux übernimmt die Raumdaten einschließlich der im DDS-CAD errechneten Positionen der Leuchten. Die Darstellung ist als 2D- oder 3D-Modell möglich.

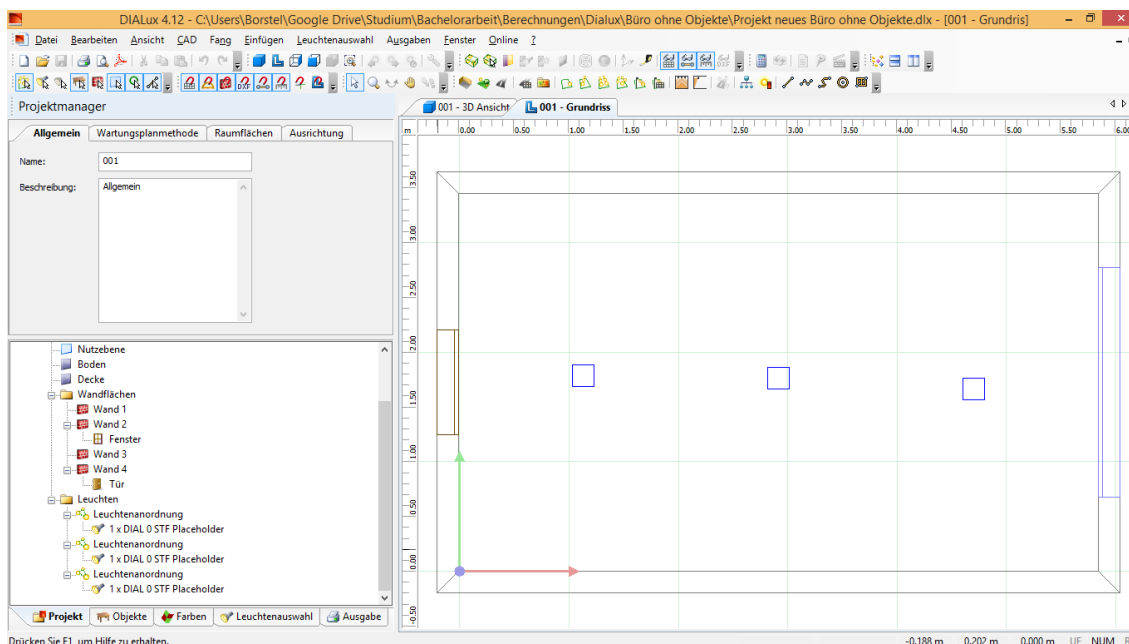


Abbildung 32 Dialux, aus DDS-CAD übernommene Raumdaten, 2D-Darstellung

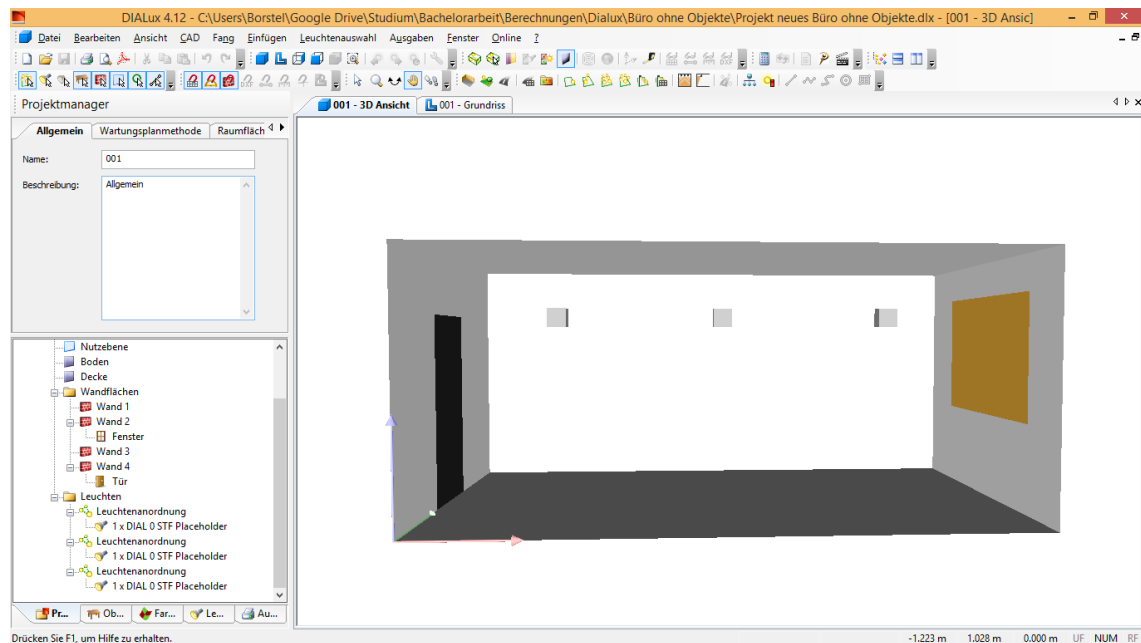


Abbildung 33 Dialux, aus DDS-CAD übernommene Raumdaten, 3D-Darstellung

Für Decke, Fußboden und Wände können verschiedene Farben und Materialien ausgewählt und auch die Reflexionsgrade angepasst werden. (Abbildung 34)

Für die Beleuchtungsberechnung ist jetzt die Auswahl und Anordnung der Leuchten erforderlich. Die Leuchtendaten können über den Leuchtenkatalog oder einen manuellen Download in das Programm eingefügt werden.

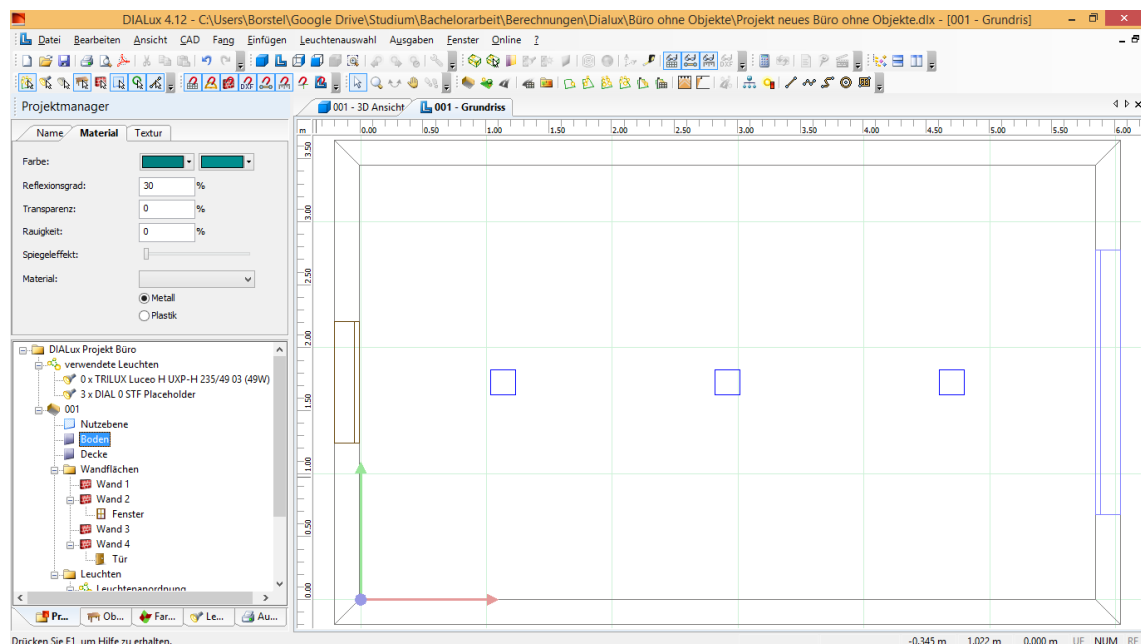


Abbildung 34 Dialux, Anpassung Reflexionsgrade

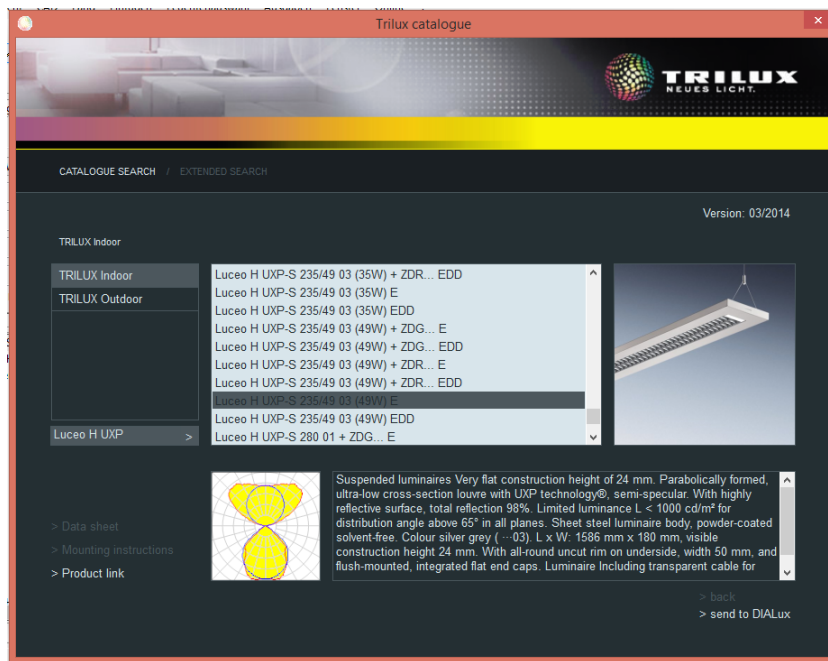


Abbildung 35 Dialux, Import von Leuchtendaten

Die Leuchten können durch Tausch gegen die Platzhalter ersetzt werden. Da die Berechnung analog Abschnitt 5.4.3 mit nur 2 Leuchten erfolgen soll, muss ein Platzhalter gelöscht werden. Die Position, (Montagehöhe bzw. Pendellänge) muss geprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

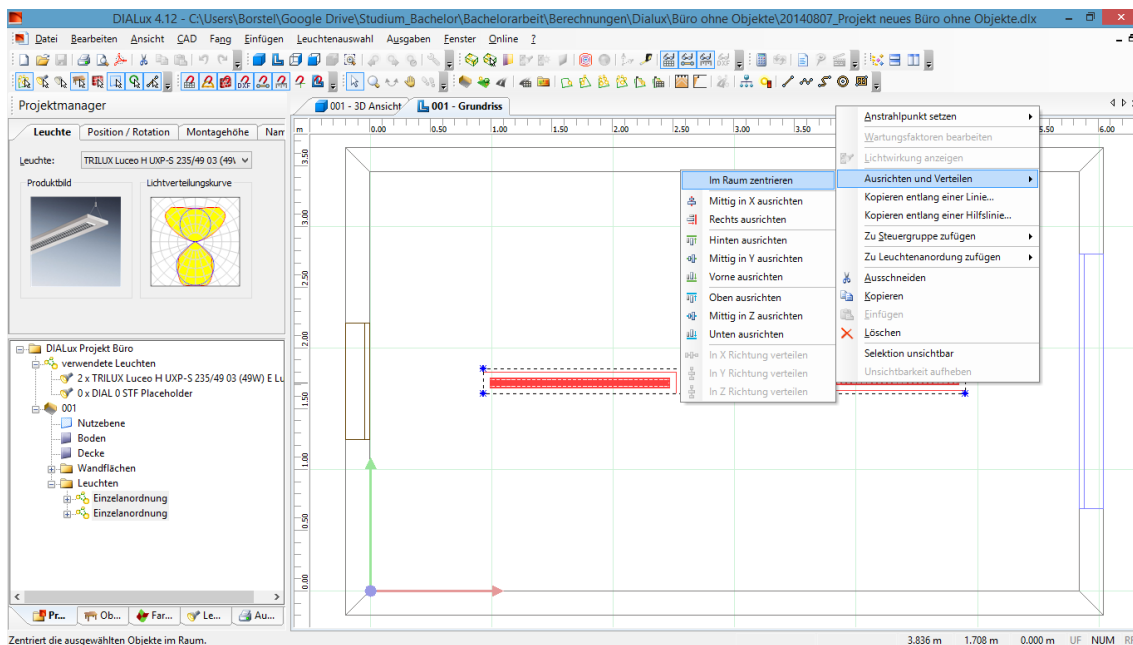


Abbildung 36 Dialux, Platzierung der Leuchten

5.5.3 Berechnung

Vor Beginn der Berechnung können noch verschiedene Einstellungen vorgenommen werden. Für eine bessere Auswertung der Berechnungsergebnisse ist es sinnvoll die Nutzebene anzupassen. Ein Randbereich von 0,5 m darf nach DIN EN 12464-1 unberücksichtigt bleiben, wenn die Arbeitsfläche nicht hineinragt. Für die Blendungsbewertung muss eine UGR-Berechnungsfläche, Maße analog Nutzebene, eingefügt werden. Die Standardhöhe beträgt 1,20 m.

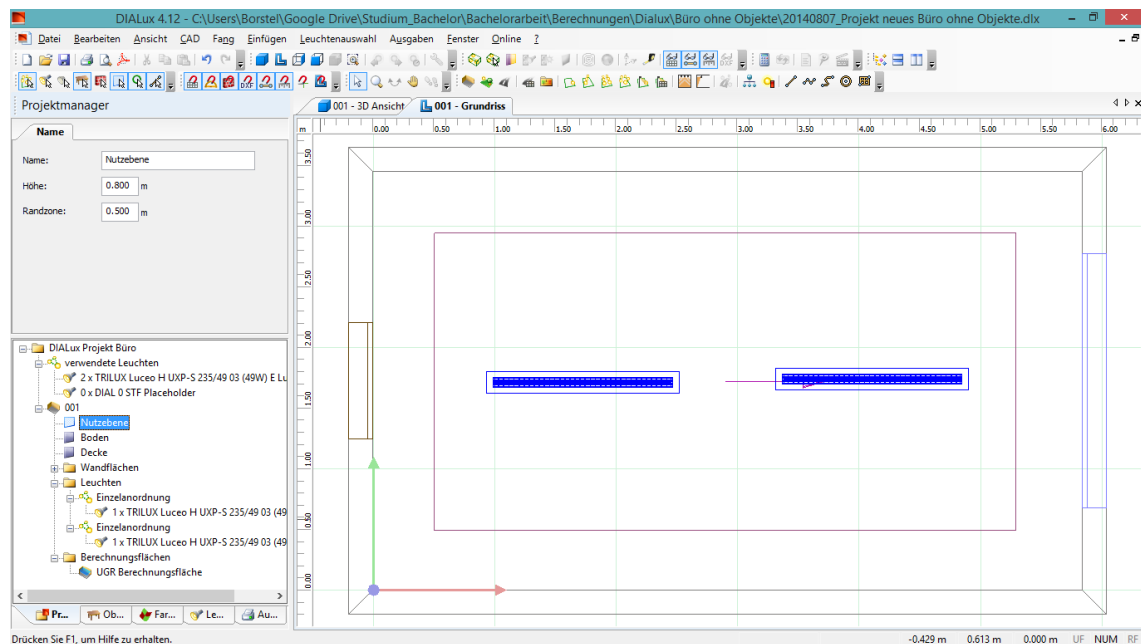


Abbildung 37 Dialux, Anpassung Nutzebene, einfügen UGR-Berechnungsfläche

Die Berechnung kann jetzt durchgeführt werden.

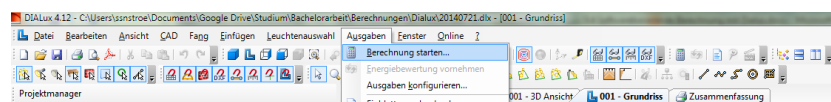


Abbildung 38 Dialux, Start der Berechnung

Die Isoliniendarstellung ist eine Möglichkeit das Berechnungsergebnis zu visualisieren. Diese Auswertung ist auch als 3D-Modell verfügbar.

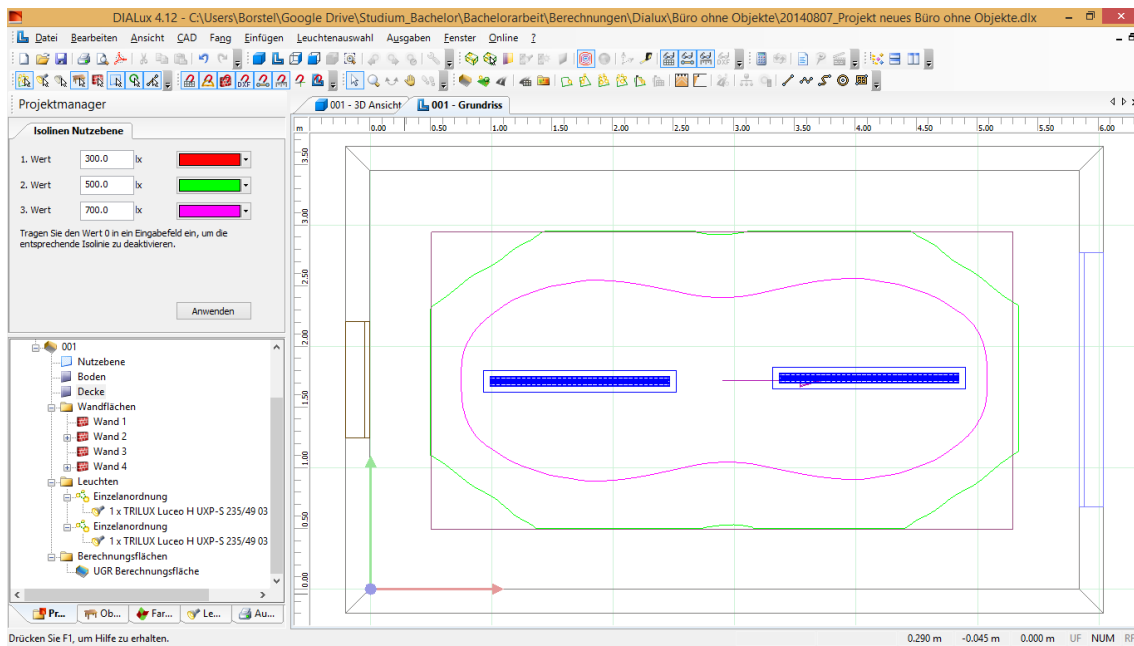


Abbildung 39 Dialux, Isoliniendarstellung 2D

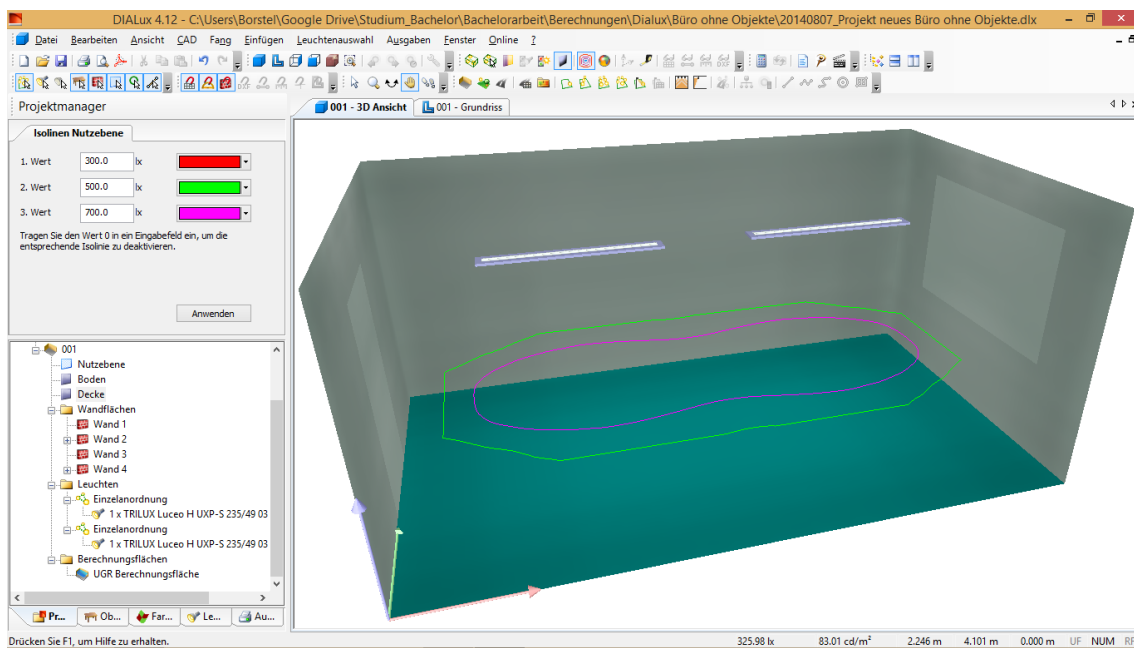


Abbildung 40 Dialux, Isoliniendarstellung 3D

Eine vollständige Ausgabe aller Berechnungsergebnisse ist möglich. Die Auswahl erfolgt über das Ausgabemenü. Details für einzelne Ausgaben können im Projektmanager festgelegt werden.

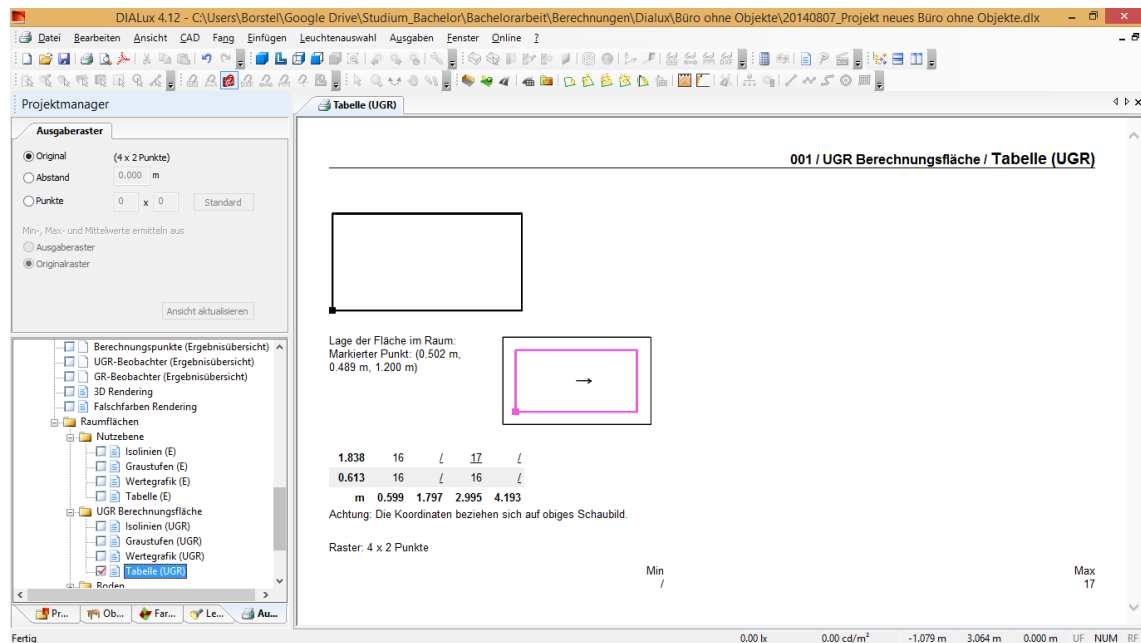


Abbildung 41 Dialux, Ausgabemenü und UGR-Berechnungsergebnisse

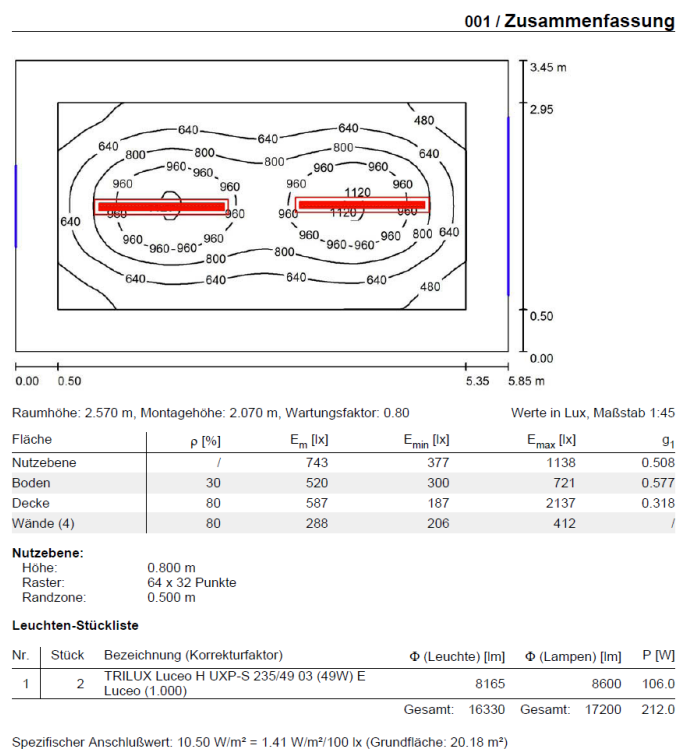


Tabelle 17 Dialux, Übersicht Berechnungsergebnisse

5.5.4 Berechnungsergebnisse

Dialux berechnet für die Nutzebene eine mittlere Beleuchtungsstärke E_m von 743 lx bei einem Minimalwert E_{min} von 317 lx und einem Maximalwert E_{max} von 1.138 lx. Die Gleichmäßigkeit g_1 beträgt 0,508. Es wird ein maximaler UGR-Wert von 17 erreicht. Die instal-

lierte elektrische Leistung beträgt 212 W bei einem Gesamt-Leuchtenlichtstrom in Höhe von 16.330 lm.

Die umfassende Auswertung der Berechnungsergebnisse ist als Anlage 3 beigelegt.

5.6 Berechnung mit der Glamox Web-Applikation für mobile Endgeräte

5.6.1 Anwendungsbeschreibung

Die Glamox Luxo Lighting GmbH ist ein Hersteller von Leuchten für eine professionelle Lichtplanung mit Sitz in Bremen. Das Unternehmen bietet die komplette Produktpalette für Innenbeleuchtungen den öffentlichen, gewerblichen und industriellen Bereich an.

Mit der Glamox Web-App bietet das Unternehmen ein kostenloses Tool für mobile Endgeräte (Smartphones, Tablets) mit Android-Betriebssystem an, um technische Informationen und Bilder der angebotenen Leuchten anzuschauen. Mit einem Schnellkalkulator können lichttechnische Berechnungen durchgeführt werden. Die Projektinformationen werden als PDF gespeichert und können per E-Mail versandt werden.

Diese Anwendung ist mit Einschränkungen auch im Offline-Betrieb, d. h. notwendige Speicherung aller Anwendungsdaten auf dem mobilen Endgerät, ausführbar.

5.6.2 Installation der Anwendung

Für die Auswahl und Installation ist ein Google-Account mit registriertem Android-Gerät (Smartphone oder Tablet) erforderlich. Die Anwendung kann im Play-Store ausgewählt und zur Installation auf dem mobilen Endgerät freigegeben werden. Für die Installation ist eine Internetverbindung erforderlich.

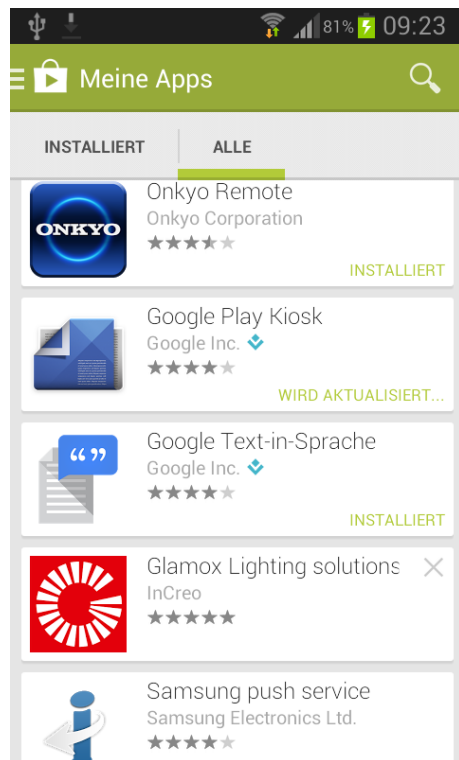


Abbildung 42 Glamox, Auswahl der App

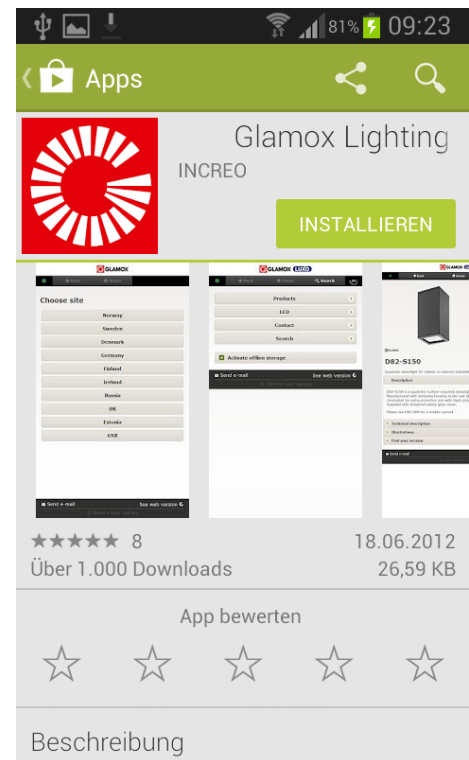


Abbildung 43 Glamox, Installation der Web-Applikation

5.6.3 Leuchtauswahl und Berechnung

Diese herstellerspezifische Anwendung stellt nur Daten von Glamox-Leuchten zur Verfügung. Um eine annähernde Vergleichbarkeit der Berechnungsergebnisse zu ermöglichen, wurde Glamox-Leuchte mit ähnlichen Daten wie, die Trilux Luceo H UXP-S 235/49 E 03, gesucht. Die Wahl fiel dabei auf die C20-P4 GR 235/49HF PRE C2,5 DU, die jedoch einen geringeren Indirektanteil hat.

Über die Suchfunktion steht nach Eingabe der Artikelnummer die Leuchte zur Auswahl zur Verfügung. Alternativ ist die Suche über einen Produktkatalog möglich.



Abbildung 44 Glamox, Produktsuche



Abbildung 45 Glamox, ausgewählte Leuchte

Weitere Details wie Produktbeschreibung, Maße und Lichtverteilungskurven stehen in weiteren Untermenüs zur Verfügung.

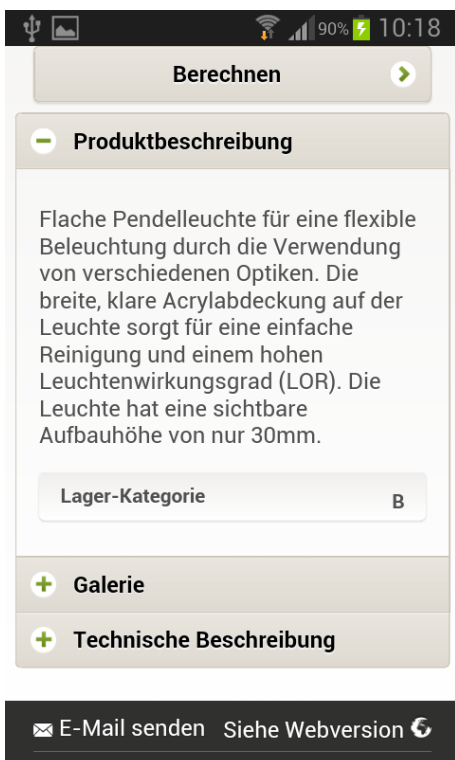


Abbildung 46 Glamox, Produktbeschreibung

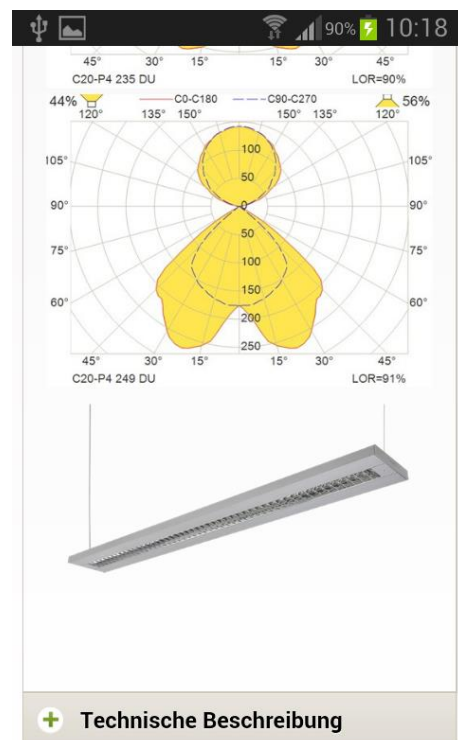


Abbildung 47 Glamox, Lichtverteilungskurve

Der Berechnungsmodus wird den „Berechnen“-Button aktiviert. Projektname, Raummaße, Sollwert der Beleuchtungsstärke und Angaben zum Wartungswert lassen sich eingeben bzw. verändern. Die Montagehöhe der Leuchte und die Höhe der Berechnungsfläche kann ebenfalls angepasst werden. Reflexionsgrade von Boden, Decke und Wänden können einfach über Schieberegler verändert werden.

Abbildung 48 Glamox, Berechnungsmodus

Abbildung 49 Glamox, Raumdaten

Die Anzahl der Leuchten je Achse und die Ausrichtung im Raum wird in Eingabefeldern erfasst bzw. durch verschiedene Button ausgewählt. Nach betätigen von „Berechnen“ werden die berechnete Beleuchtungsstärke, die Gesamtleistung und die spezifische Belastung angezeigt.

Grundriss, Seitenansicht und Isometrie sind weitere Darstellungsoptionen, zeigen jedoch nur die Anordnung der Leuchten im Raum.

Abbildung 50 Glamox, Leuchtenanordnung und Berechnungsergebnisse

Abbildung 51 Glamox, Ausgabemenü

Eine Zusammenfassung der Projektdaten kann als PDF ausgegeben werden. Dieses Dokument ist als Anlage 3 beigefügt.

5.6.4 Berechnungsergebnisse

Die Glamox-App ermittelt für die Berechnungsfläche eine Beleuchtungsstärke von 601 lx. Weitere Angaben z. B. zu Gleichmäßigkeit und Blendung stehen nicht zur Verfügung. Die installierte elektrische Leistung beträgt 210 W.

5.7 Online-Berechnung auf der Trilux-Herstellerseite

5.7.1 Anwendungsbeschreibung

Die Trilux-Gruppe mit Sitz in Arnsberg ist das größte Unternehmen der Branche, das sich zu 100 Prozent im Familienbesitz befindet.

Auf der Internetseite des Unternehmens (<http://www.trilux.com/de/>) besteht die Möglichkeit, unter Berücksichtigung der Produktauswahl und der räumlichen Gegebenheiten, die erforderliche Anzahl der Leuchten zu ermitteln. Vorteilhaft ist, diese Funktion steht betriebssystemunabhängig zur Verfügung und eine Installation ist nicht erforderlich.

5.7.2 Leuchtauswahl und Berechnung

Eine Suche der Leuchte über den Produktkatalog ist möglich. Ist die genaue Bezeichnung bekannt, kann die Auswahl über die Suchfunktion erfolgen.

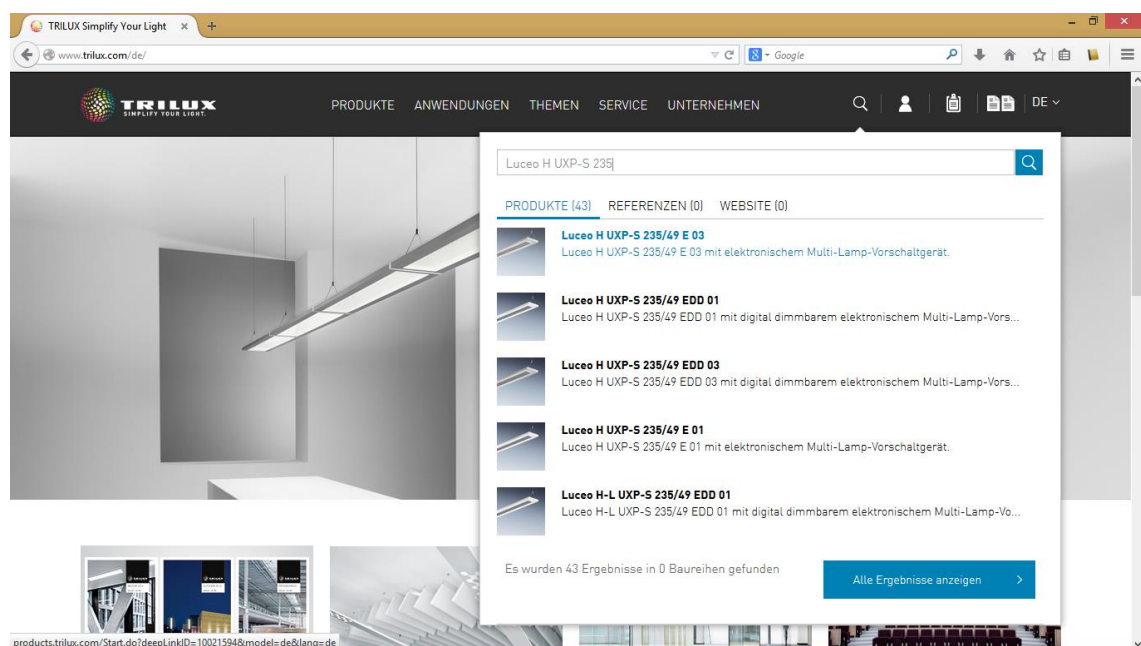


Abbildung 52 Trilux, Leuchtauswahl




Auf der Produktseite stehen detaillierte Angaben zur Leuchte zur Ansicht und zum Download zur Verfügung.

Über den Reiter „Lichttechnik“ gelangt man zum Lichtrechner. Von diesen Leuchtentyp gibt es Varianten für verschiedene Lampenleistungen. Für die zum Einsatz kommende Leuchte muss die 49 W-Variante gewählt werden. Für ausgewählte Beleuchtungsstärken, Raumflächen und Höhen steht eine Tabelle (Abbildung 54) zur Ermittlung der Leuchtenanzahl zur Verfügung. Reflexionsgrade und Wartungswerte werden aber nicht berücksichtigt.

LUCEO H UXP-S 235/49 E 03

PRODUKTDATEN AUSSCHREIBUNG LICHTTECHNIK ZUBEHÖR (8)

Produktdetails 4902404

EAN	4018242173631	Farbe	silbergrau
Anschlussleistung	78 W	Bruttogewicht	4,9
EEC	A, A+, B	Glühdrahtfestigkeit	850 °C
Lampen/Leuchtenlichtstrom	2 x 35/49	Prüfzeichen	  
Schutzart	IP20		

Produktbeschreibung

Leuchtentyp
Hängeleuchte in Einzelausführung. Für 2 Leuchtstofflampen T5 35/49 W.

Anwendungsbereiche
Für die entsprechende Allgemeinbeleuchtung von Büros, Verkaufsräumen, Ausstellungsräumen, Banken und Schalterhallen.

Optisches System
Mit Niederquerschnittsraster, satiniert. Mit direkt-indirekt strahlender Lichtstärkeverteilung. Mit reflexionsverstärkend beschichteter Silber-Oberfläche. Reflexionsgrad 98%. Bildschirmgerecht gemäß EN 12464-1 durch begrenzte Leuchtdichten $L < 1500 \text{ cd/m}^2$ für Ausstrahlungswinkel oberhalb 65° rundum.

DOWNLOADS

Allgemeine Daten

- Produktdatenblatt 178 KB
- Montageanleitung 1 MB

Ausschreibungsdaten

- GAEB-81 <100 KB
- RTF <100 KB

Abbildung 53 Trilux, ausgewählte Leuchte

LUCEO H UXP-S 235/49 E 03

PRODUKTDATEN AUSSCHREIBUNG LICHTTECHNIK ZUBEHÖR (8)

Wählen Sie ein Produkt:

Luceo H UXP-S 235/49 E 03 (49W)

Übernehmen in DIALux

Lichtrechner

Leuchte

Lichtverteilung

Luceo H UXP-S 235/49 E 03 (49W)

Leuchtdatenverteilung

GB - C180 --- --C90 - C270

Lichtstromverteilung nach DIN 5040

$\phi_{1/2} = 0,38$ (D)

$\phi_{1/4} = 0,68$ (S)

$\phi_{1/8} = 0,74$ (3) UGR $I_{q} = 12,7 / 11,6$

Anzahl der Leuchten im Raum

Pendellänge $l_p = 0,50 \text{ m}$

Raum H	2 x 75 W				4000 lm			
	2,5 m	3,0 m	2,5 m	3,0 m	2,5 m	3,0 m	2,5 m	3,0 m
20	1,0	1,2	1,7	2,0				
30	1,6	1,7	2,6	2,9				
40	2,0	2,2	3,4	3,7				
50	2,5	2,8	4,2	4,6				
60	3,0	3,3	5,1	5,4				
80	4,0	4,3	6,7	7,2				
100	5,0	5,3	8,4	8,9				
200	10,0	10,4	16,7	17,4				

Reflexionsgrade $\rho_{\text{Ra}} = 0,70 / 0,50,2$

Verminderungsfaktor $v = 0,8$

Höhe der Bewertungsebene $e = 0,75$

Betriebseinstufungsgrad $e_{\text{L8}} = 0,95$

DOWNLOADS

Allgemeine Daten

- Produktdatenblatt 178 KB
- Montageanleitung 1 MB

Ausschreibungsdaten

- GAEB-81 <100 KB
- RTF <100 KB

Abbildung 54 Trilux, Berechnungstabelle und Lichtrechner

Im Menü des Lichtrechners werden die geforderte Beleuchtungsstärke sowie Raummaße, Reflexionsgrade und der Wartungsfaktor ausgewählt bzw. eingegeben. Die Reflexionsgrade des Projektraumes (80-80-30) stehen nicht zur Verfügung. Aus diesem Grund wurde der nächste Kombination (80-70-30) gewählt. Nach einem Mausklick auf den Button „Berechnen“ steht das Ergebnis zur Verfügung.

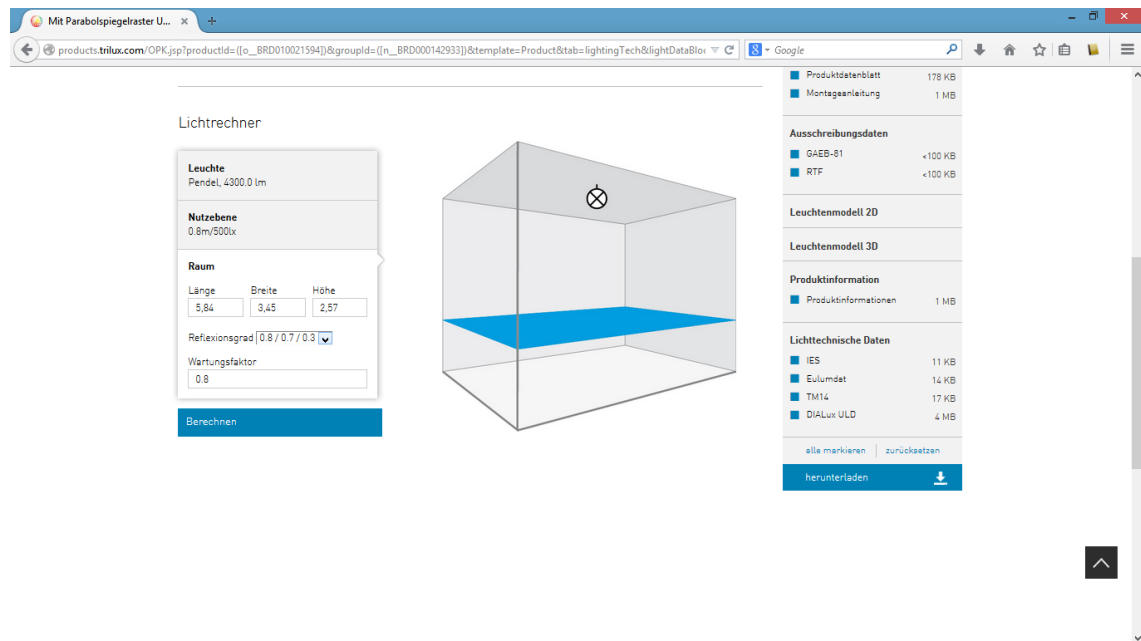


Abbildung 55 Trilux, Lichtrechner Eingabewerte

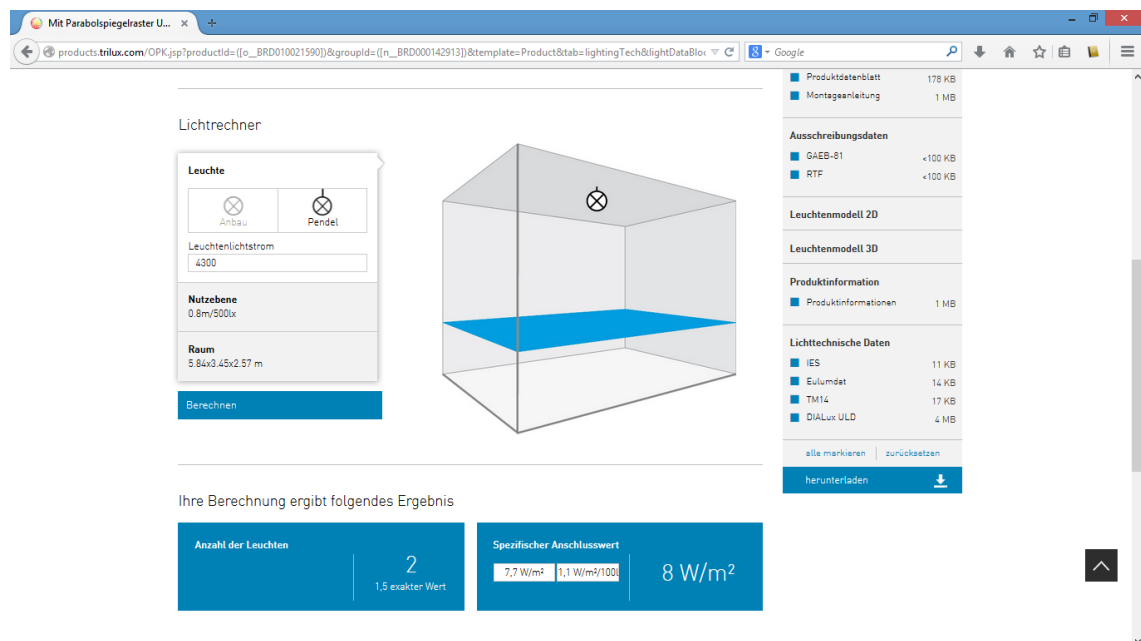


Abbildung 56 Trilux, Lichtrechner Ergebnis

5.7.3 Berechnungsergebnisse

Die Trilux-Produktseite ermittelt die exakte Leuchtenanzahl von $1,5 \approx 2$ für festgelegte 500 lx auf der Nutzebene. Weitere Angaben z. B. zu Gleichmäßigkeit und Blendung stehen nicht zur Verfügung. Über den spezifischen Anschlusswert kann die zu installierende elektrische Leistung ermittelt werden. Für 8 W/m^2 ergibt das den Wert 161,2 W. Diese Angabe bezieht sich jedoch auf 1,5 Leuchten. Für 2 Leuchten beträgt die Installationsleistung 212 W.

5.8 Dialux-Referenzobjekt mit Objekten

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Berechnungsergebnisse, die sich nur auf den leeren Raum ohne Objekte (Mobiliar) beziehen, wird der Raum um die vorhandenen Objekte (Schränke, Schreibtische und Stühle ergänzt.

5.8.1 Raumkonstruktion und Datenimport

Auf die Raumkonstruktion bzw. den Datenimport wurde bereits in Abschnitt 5.5.2 eingegangen. Wurden z. B. im DDS-CAD bereits Objekte gezeichnet, können dies als DWG/DXF-Grafik eingelesen werden. Die Darstellung erfolgt aber nur als 2D-Modell und kann mit Grundriss und Position nur Hilfestellung für eine Objektauswahl bzw. -Konstruktion sein.

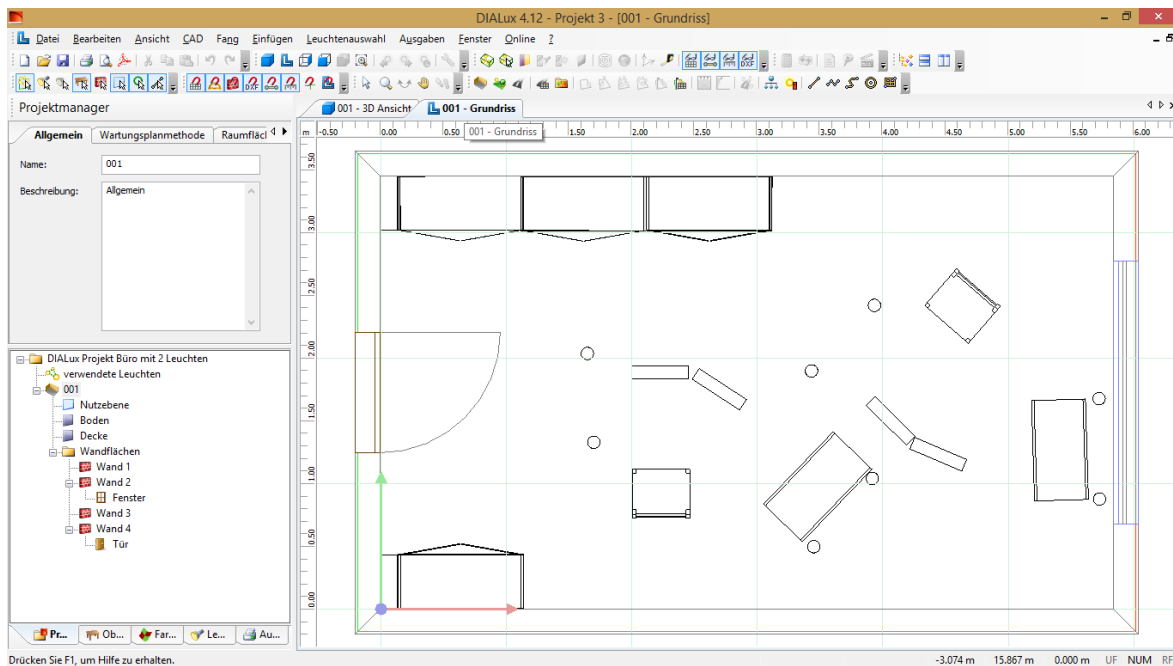


Abbildung 57 Dialux, Grundriss mit DXF-Grafik

Standard-Objektdaten stehen in vielen Varianten zur Verfügung und müssen ggf. nur noch angepasst werden. Sonderformen, wie in diesem Fall die abgewinkelten Schreibtische, werden aus Standardformen konstruiert. Bauliche Besonderheiten, z. B. Säulen, Träger oder andere im Raum sichtbare Elemente stehen ebenfalls in Standardformen zur Verfügung und werden als Raumelement eingefügt.

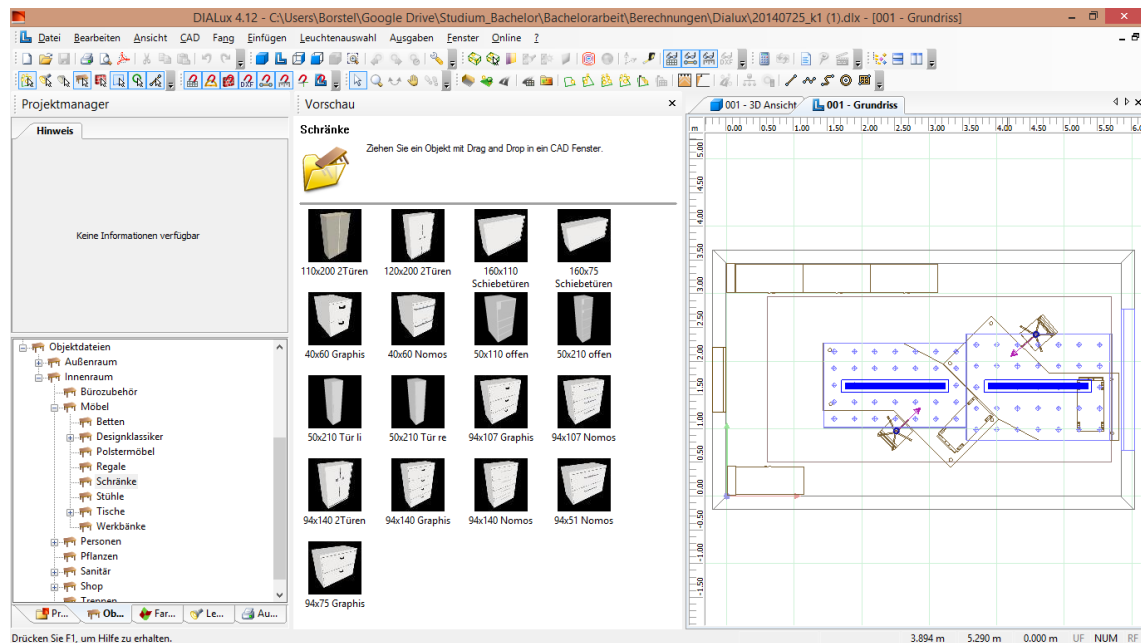


Abbildung 58 Dialux, Objektdateien

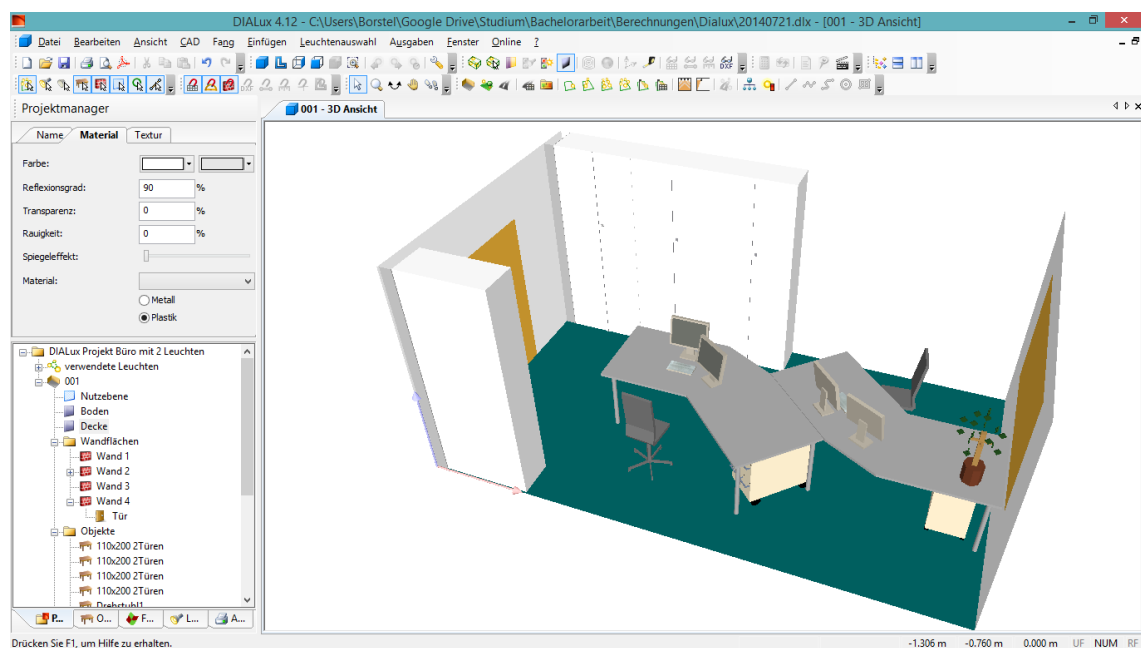


Abbildung 59 Dialux, 3D-Raummodell mit Objekten und Raumelementen

Die Auswahl und Anordnung der Leuchten erfolgt analog Abschnitt 5.5.2. Die jetzt vorhandenen Objekte ermöglichen eine bessere, auf die Arbeitsplätze bezogene Ausrichtung.

5.8.2 Berechnung

Für eine detailliertere Auswertung lassen sich zusätzlich zur voreingestellten Nutzfläche Arbeitsbereiche, Berechnungsraster und zur Blendungsbewertung UGR-Beobachtungspunkte einfügen. Der Abstand der Berechnungspunkte zur Ermittlung der

Gleichmäßigkeit nach [DIN EN 12193] wird nach Formel 3.1 ermittelt. Die längste Seite des Bewertungsfeldes beträgt 2,6 m, der ermittelte Punktabstand ca. 0,4 m.

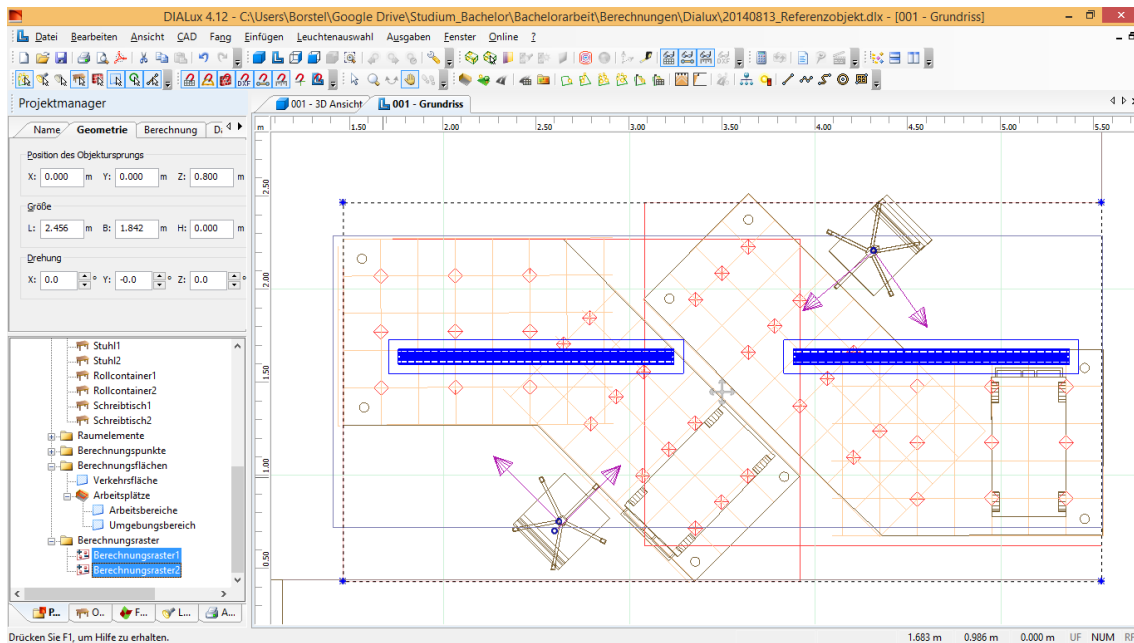


Abbildung 60 Dialux, Arbeitsbereiche und Berechnungspunkte bzw. -Raster

Die Berechnung erfolgt wie in Abschnitt 5.5.3 beschrieben. Für die Ausgabe der detaillierten Berechnungsergebnisse müssen im Ausgabemenü die entsprechenden Auswertungen aktiviert werden.

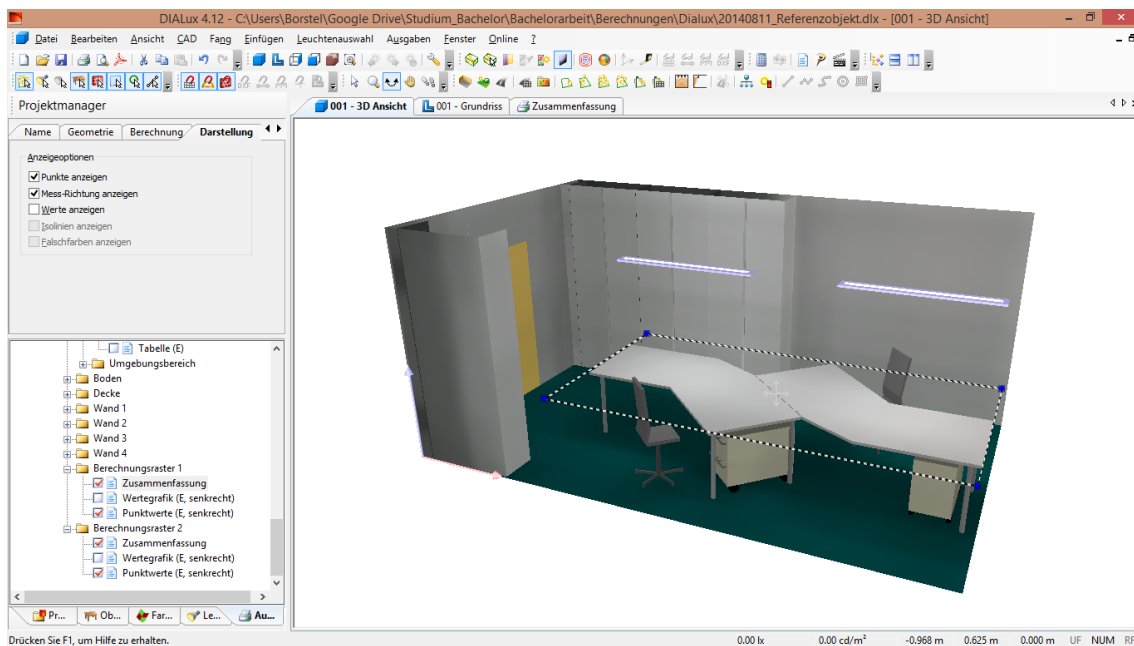


Abbildung 61 Dialux, Ausgabemenü

5.8.3 Berechnungsergebnisse

Für die einzelnen Bereiche/Raster berechnet Dialux folgende Werte:

- Berechnungsraster 1

$$E_m = 1044 \text{ lx} \quad E_{\min} = 788 \text{ lx} \quad E_{\max} = 1206 \text{ lx} \quad g_1 = 0,75$$

- Berechnungsraster 2

$$E_m = 1082 \text{ lx} \quad E_{\min} = 775 \text{ lx} \quad E_{\max} = 1223 \text{ lx} \quad g_1 = 0,72$$

- UGR-Berechnungspunkte

$$\text{Punkt 1: } 13 \quad \text{Punkt 1-1: } 18 \quad \text{Punkt 2: k. A.} \quad \text{Punkt 2-1: } 15$$

- Umgebungsbereich

$$E_m = 679 \text{ lx} \quad E_{\min} = 389 \text{ lx} \quad E_{\max} = 1020 \text{ lx} \quad g_1 = 0,572$$

Die umfassende Auswertung der Berechnungsergebnisse ist als Anlage 4 beigefügt.

5.9 Praktische Umsetzung und Messung der Istwerte

Die praktische Umsetzung erfolgte nach den im Referenzobjekt ermittelten Vorgaben.

5.9.1 Montage

Für die Montage der Leuchten wurde dem beauftragten Elektroinstallationsunternehmen der Lageplan des Dialux-Referenzobjektes zur Verfügung gestellt.

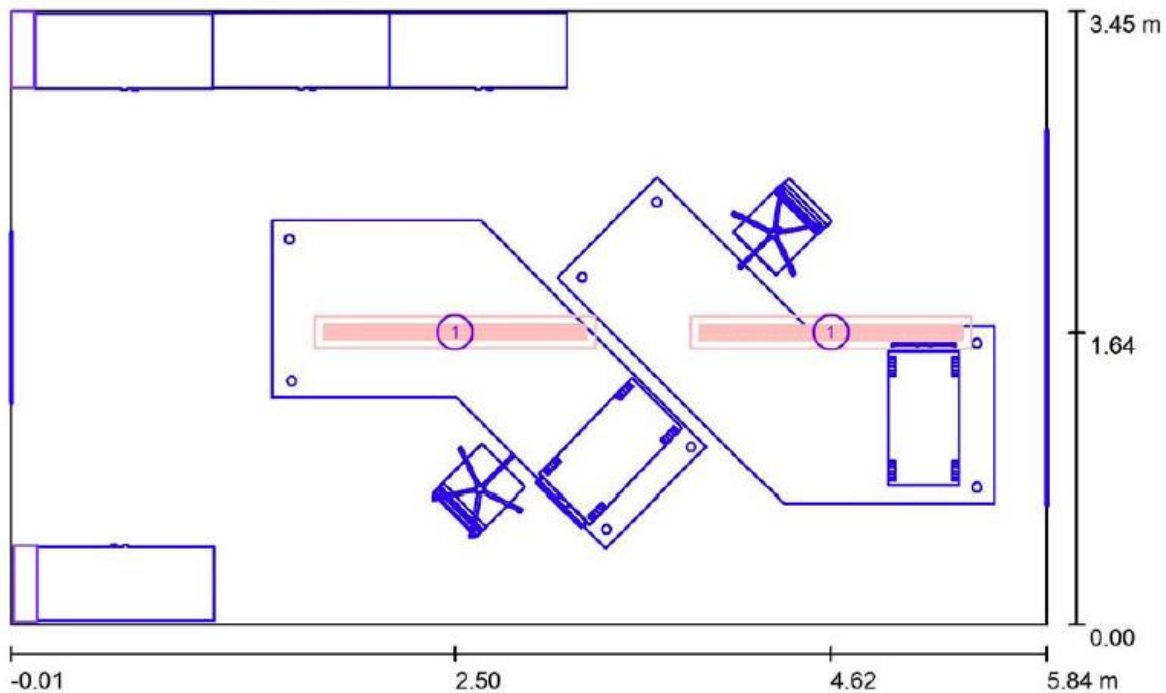


Abbildung 62 Dialux, Lageplan der Leuchten

Abweichend von den Berechnungen in den Abschnitten 5.2 – 5.7 wurde aus technischen Gründen eine Pendellänge von 0,3 m realisiert. Im Dialux-Referenzobjekt wurde das berücksichtigt.

Die in der Abbildung 63 noch zu sehenden Downlights der Fa. Zumtobel wurden zur Messung nicht geschaltet und fanden deshalb auch keine Berücksichtigung.



Abbildung 63 Büro mit neuen Leuchten

5.9.2 Messung

Die Messung erfolgte nach den Vorgaben der DIN 5035 Teil 6 Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 6: Messung und Bewertung 1983-11. Die aktuelle Version 2006-11 stand leider nicht zur Verfügung.

Als Messgerät wurde anfänglich nur das Beleuchtungsstärkemessgerät LMT Pocket-Lux 2 des Herstellers LMT LICHTMESSTECHNIK GMBH BERLIN verwendet. Das Gerät der Klasse B nach DIN 5032 Teil 7 hat ca. 2 m langes Anschlusskabel für den separaten Photometerkopf mit einer Lichteintrittsfläche von 10 mm Durchmesser.

Das im Abschnitt 5.8.2 ermittelte Berechnungsraster (Abbildung 60) wurde auf die Schreibtische übertragen, die Messergebnisse für die spätere Auswertung direkt auf der Arbeitsfläche dokumentiert.

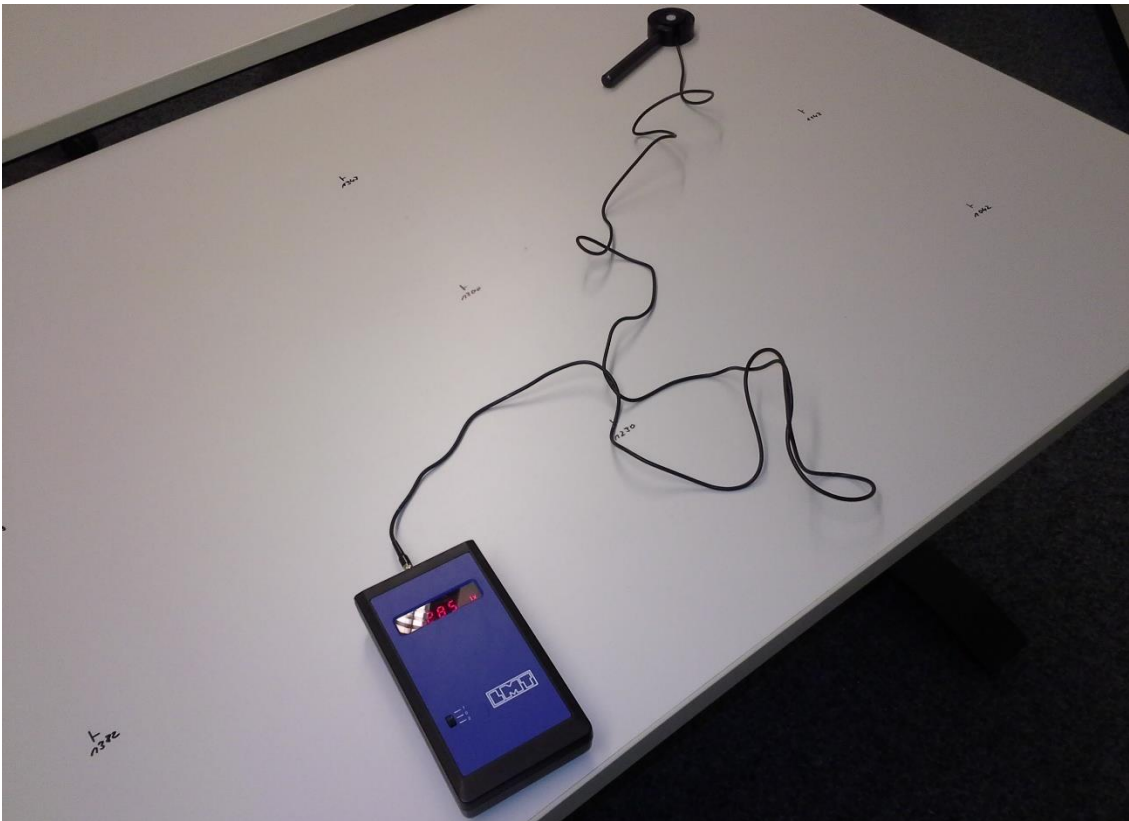


Abbildung 64 Messung und Erfassung der Messwerte

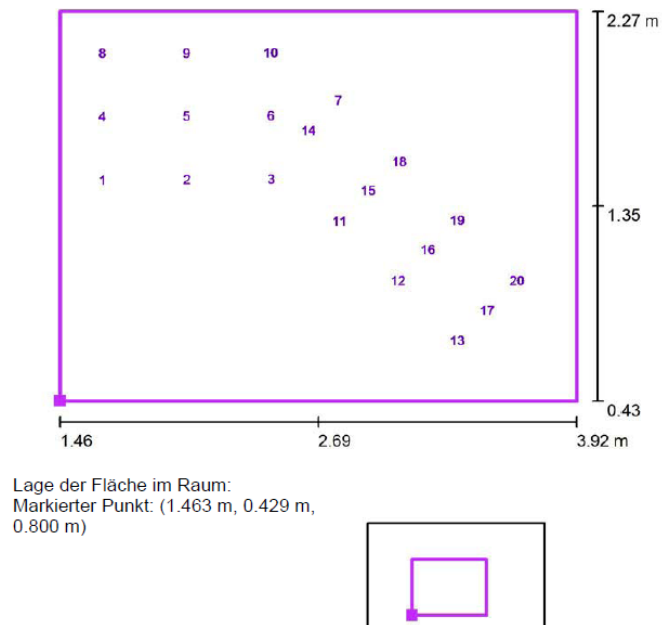
Um durch das Messgerät verursachte Fehler auszuschließen, wurden die Messungen mit einem weiteren Geräte wiederholt. Dabei kam ein MAVOLUX 5032C/B USB, Hersteller Gossen Foto- und Lichtmesstechnik GmbH zum Einsatz. Das Mavolux erfüllt ebenfalls die Anforderungen der Klasse B nach DIN 5032 Teil 7.

Die Lage der Messpunktkoordinaten kann den jeweiligen Abbildungen entnommen werden, die Messwerte sind in den folgenden Tabellen aufgeführt. Die Zuordnung zu den Messgeräten wurde wie folgt vorgenommen:

(1) LMT Pocket-Lux 2

(2) MAVOLUX 5032C/B USBGossen

Für alle weiteren Auswertungen wurde der arithmetische Mittelwert verwendet.



Messpunkt Nr.:	Wert (1) [lx]	Wert (3) [lx]	Mittel Wert [lx]	Dialux- referenz [lx]	Abweichung Mittel- zu Referenzwert
1	1054	1112	1038	827	31 %
2	1286	1349	1317	1030	28 %
3	1416	1472	1444	1159	25 %
4	1046	1105	1076	828	30 %
5	1273	1331	1302	1035	26 %
6	1396	1459	1428	1163	23 %
7	1397	1465	1431	1205	18 %
8	956	1019	988	788	25 %
9	1154	1223	1189	974	22 %
10	1265	1335	1300	1092	19 %
11	1337	1400	1369	1157	18 %
12	1138	1220	1179	1009	17 %
13	956	1019	988	840	18 %
14	1418	1483	1451	1197	21 %
15	1393	1457	1425	1201	19 %
16	1227	1306	1267	1092	16 %
17	1059	1121	1090	930	17 %
18	1401	1469	1435	1206	19 %
19	1308	1385	1347	1146	17 %
20	1158	1233	1196	1005	19 %

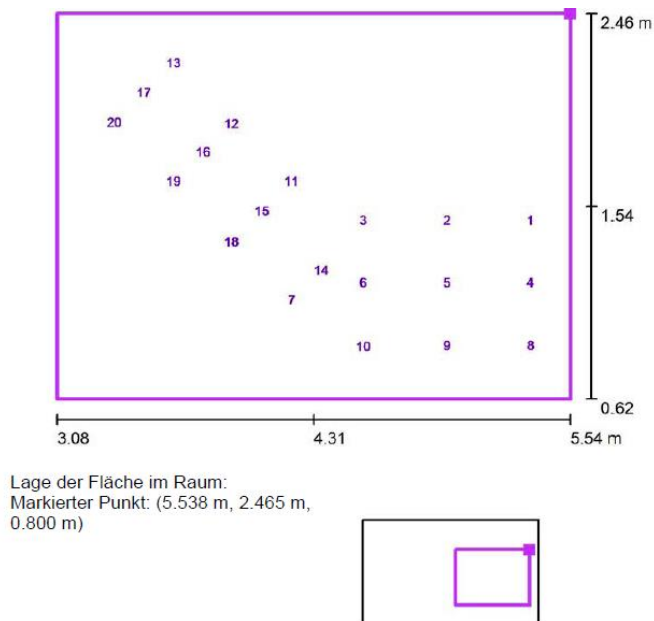


Abbildung 66 Berechnungsraster 2, Lage der Messpunkte

Messpunkt Nr.:	Dialux-referenz [lx]	Wert (1) [lx]	Wert (3) [lx]	Mittelwert [lx]	Dialux-referenz [lx]	Abweichung Mittel- zu Referenzwert
1	948	1104	1180	1142	948	20 %
2	1118	1324	1389	1357	1118	21 %
3	1209	1409	1476	1443	1209	19 %
4	895	1092	1162	1127	895	26 %
5	1045	1284	1355	1320	1045	26 %
6	1128	1368	1438	1403	1128	24 %
7	1099	1359	1424	1392	1099	27 %
8	775	965	1033	999	775	29 %
9	886	1120	1186	1153	886	30 %
10	945	1195	1260	1228	945	30 %
11	1223	1382	1444	1413	1223	16 %
12	1168	1230	1287	1259	1168	8 %
13	1023	1042	1106	1074	1023	5 %
14	1171	1397	1462	1430	1171	22 %
15	1206	1389	1454	1422	1206	18 %
16	1181	1300	1354	1327	1181	12 %
17	1099	1143	1202	1173	1099	7 %
18	1192	1381	1451	1416	1192	19 %
19	1180	1343	1403	1373	1180	16 %
20	1152	1236	1292	1264	1152	10 %

Tabelle 19 Berechnungsraster 2, Punktwerte

Für die einzelnen Raster ergeben nach Auswertung des arithmetischen Mittels folgende Werte:

- Berechnungsraster 1

$$E_m = 1265 \text{ lx} \quad E_{\min} = 987 \text{ lx} \quad E_{\max} = 1451 \text{ lx} \quad g_1 = 0,78$$

- Berechnungsraster 2

$$E_m = 1286 \text{ lx} \quad E_{\min} = 999 \text{ lx} \quad E_{\max} = 1443 \text{ lx} \quad g_1 = 0,78$$

6 Auswertung der Berechnungsergebnisse

Die Ergebnisse der in den Abschnitten 5.2 bis 5.9 durchgeführten Berechnungen bzw. Messungen sind in Tabelle 20 aufgeführt. Von den im Dialux-Referenzobjekt und bei der Messung verwendeten Ergebnissen für die Messpunkte wurde der arithmetische Mittelwert aus allen Berechnungen (Berechnungsraster 1 & Berechnungsraster 2) bzw. Messungen berücksichtigt. Vorgabewerte, die auch nach Berechnung nicht angepasst wurden, sind entsprechend gekennzeichnet.

Die unter 5.3 und 5.3 nach der Wirkungsgradmethode erzielten Ergebnisse sind unterschiedlich. Das Berechnungsergebnis von DDS-CAD muss kritisch betrachtet werden. Der vom Programm ermittelte Raumwirkungsgrad beträgt nur 0,53 und liegt damit auf dem Niveau des Wertes nach 5.2, Tabelle 15. Diese Abweichungen würde ich zum großen Teil auf die nicht vorhandenen Reflexionsgrade (80-80-30) und den nicht bekannten Leuchtenwirkungsgrad zurückgeführt werden. Unter Berücksichtigung der der LiTG-Publikation 3.5 [LiTG-1988], Seite 84 (Anlage 1), ergibt die Anhebung der Reflexionsgrade von (80-50-30) auf die tatsächlichen (80-80-30) eine Erhöhung des Raumwirkungsgrades von ca. 66 % auf ca. 87 %. Der zu Ansatz kommende Nutzlichtstrom als Grundlage für die Berechnung der Leuchtenanzahl ist deshalb ca 30 % höher als tatsächlich notwendig.

Eine telefonische Rücksprache mit Herrn Kloeber am 21.08.2014, Technischer Berater bei DDS-CAD, ergab die Bestätigung für die o. g. Annahme. DDS-CAD rechnet auf Grundlage der DIN 18599 Teil 4 (Tabelle 15).

Bei den Berechnungsergebnissen der leeren Räume mit Dialux und Relux ergeben sich trotz gleicher Vorgaben Unterschiede. Die mittlere Beleuchtungsstärke E_m ist bei Dialux trotz kleinerem E_{min} größer. Diese Streuung schlägt sich auch in der schlechteren Gleichmäßigkeit g_1 nieder. Die UGR-Werte sind ebenfalls unterschiedlich, liegen aber innerhalb der Vorgaben der Arbeitsstättenverordnung (≤ 19).

Die Werte der Glamox Web-App und der Trilux Onlineberechnung liegen etwa auf gleichen Niveau. Annahme ist, dass diese Berechnungen nach der Wirkungsgradmethode erfolgen und Berechnung für eine Nutzfläche, die kleiner ist als die Raumfläche ist, erfolgt.

Die insgesamt besseren Werte des Dialux-Referenzobjektes sind damit zu erklären, dass die Berechnung für genau festgelegte Bereich (Berechnungsraster) erfolgt und die Leuchtenanordnung dafür optimiert wurde. Das gilt analog auch für die Gleichmäßigkeiten und die UGR-Werte.

Die Messwerte der praktischen Umsetzung entsprechen unter Berücksichtigung des Planungsfaktors 1,25 etwa den Werten des Dialux-Referenzobjektes. Der Mittelwert der Messergebnisse liegt durchschnittlich 20 % über den Rechenwerten. Die noch vorhandenen Abweichungen von ca. 5 % sind unerheblich und können ihre Ursachen u. a. in Messfehlern und/oder Abweichungen bei den Reflexionsgraden haben.

Angabe/Wert	Wirkungsgrad- methode manuell	Wirkungs- grad- methode DDS-CAD	Relux	Dialux	Glamox Web-App	Trilux Onlineberech- nung	Dialux Referenzob- jekt (Mittelwert)	Messwerte praktische Umsetzung (Mittelwert)
Anzahl der Leuchten	1,83	3	2	2	2	1,5	2	2
E_m [lx]	500 ⁽¹⁾	545	607	743	601	500 ⁽¹⁾	1063	1216
E_{min} [lx]	-	-	431	377	k. A.	k. A.	782	947
E_{max} [lx]	-	-	k. A.	1138	k. A.	k. A.	1215	1388
Gleichmäßigkeit g_1	-	-	0,71	0,508	k. A.	k. A.	0,74	0,77
UGR-Wert	-	-	12,7	17	k. A.	k. A.	15	k. A.
Elektrische Leistung [W]	212	318	212	212	210	212	212	212

⁽¹⁾ Vorgabewert

⁽²⁾ gerundet

k.A. keine Angabe

Tabelle 20 Vergleich Berechnungs- und Messwerte

6.1 Fazit und Handlungsempfehlung

Beim Vergleich der berechneten Leuchtenanzahl lässt sich schnell feststellen, dass alle Berechnungen zum gleichen Ergebnis (2 Leuchten) kommen. Der Zeitaufwand zur Berechnung der einzelnen Ergebnisse ist aber unterschiedlich und führt zu Frage:

Welche Voraussetzungen rechtfertigen den höheren Aufwand für eine aufwändige Berechnung?

Antwort:

Für Räume mit einfacher, rechteckiger Geometrie und raumzentrierter Anordnung der Arbeitsplätze sind vereinfachte Berechnungen nach der Wirkungsgradmethode ausreichend. Ob diese manuell, mit Onlinetools oder App durchgeführt werden ist unerheblich. DDS-CAD ist auf Grund der unter 6 genannten Einschränkungen zu ungenau. Dieser Fehler tritt bei allen Methoden auf, wenn die Reflexionsgrade (80-80-30) nicht in Näherung eingestellt werden können.

Weicht die Raumgeometrie und die Anordnung der Arbeitsplätze vom Standardfall ab, sollte eine genauere Berechnung mit den unter 5.4 und 5.5/5.8 verwendeten Programmen Relux bzw. Dialux durchgeführt werden.

Der Vergleich von Berechnungsergebnissen mit der o.g. Software mit Messwerten einer praktischen Umsetzung für solche Fälle könnte Inhalt weiterer Betrachtungen sein.

Literatur

[Bae-2006]	Baer, Roland: Grundlagen der Beleuchtungstechnik, Berlin, HUSS-MEDIEN GmbH, 2006
[Hen-2002]	Hentschel, Hans-Jürgen: Licht und Beleuchtung Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik, Heideberg, Hüthig Verlag, 2002
[DIN EN 12464-1]	Licht und Beleuchtung, Beleuchtung von Arbeitsstätten Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen, Deutsches Institut für Normung e.V., März 2003
[DIN EN 12665]	Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung, Deutsches Institut für Normung e.V., September 2002
[DIN EN 12193]	Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung, Deutsches Institut für Normung e.V., April 2008
[DIN 5034-1]	Tageslicht in Innenräumen Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Deutsches Institut für Normung e.V., Oktober 1999
[DIN V 18599-4]	Energetische Bewertung von Gebäuden-Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung-Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung, Deutsches Institut für Normung e.V., Juli 07
[led-2014]	http://www.led-info.de/grundlagen/definitionen/leuchte.html , 16.07.2014, 16:15
[Scho-2014]	http://www.achim-scholz-ek.de/Lichttechnik.html , 10.06.2014, 20:15

[Lüb-2012]	Eva Lübke, Farbempfindung, Farbbeschreibung und Farbmessung: Eine Formel für die Farbsättigung, Leipzig, Springer Vieweg, 2012
[hea-2014]	http://www.hea.de/service/fachwissen/elektroinstallation/2-2-elektrischer-strom-und-menschlicher-koerper.php#sechs_1 , 16.07.2014, 17:35
[Ha-1985]	Harris, J. B.: Professionalismus in der Beleuchtung, Int. Licht-Rundschau 36 (1985), S 29
[ELV-5/2011]	ELV Elektronik AG, ELV-Journal 5/2011, Lichttechnische Grundlagen
[PTB]	http://www.ptb.de/cms/themenrundgaenge/hueterindereinheiten/das-si/candela.html , 13.08.2014, 18:13
[LiTG-1988]	LiTG-Fachausschuss „Beleuchtungsberechnung“, Projektierung von Beleuchtungsanlagen nach dem Wirkungsgradverfahren, Berlin, Lichttechnische Gesellschaft e.V., 1988

Anlagen

Teil 1 A-I

Teil 2 A-II

Teil 3 A-III

Teil 4 A-IV

Teil 5 A-V

Anlagen, Teil 1

Projektierung von Beleuchtungsanlagen nach dem Wirkungsgradverfahren
Berechnung von raumwirkungsgraden und Beleuchtungswirkungsgraden und ihre Anwendung
5. Auflage 1988
LiTG Publikation 3.5
Lichttechnische Gesellschaft e.V., Berlin

Tabellen A1, Seite 84

Leuchtentyp: C 42.1 - Leuchten an der Decke -

phu = 0.52 phisu = 0.51 phiso = 0.70

Wirkungsgrade in %

	rhoD	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5	0.3	0.0	Deckendirekt- anteil phil
	rhoW	0.8	0.5	0.3	0.5	0.3	0.7	0.5	0.3	0.8	0.5	0.3	0.5	0.3	0.3	0.0	
	rhoN	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	
	k																
0.60		65	41	32	33	27	48	37	30	59	39	31	31	26	23	14	0.48
0.80		75	51	42	40	34	57	46	39	66	48	40	39	33	29	19	0.48
1.00		81	59	50	46	40	63	53	45	72	54	47	44	39	33	23	0.48
1.25		88	67	58	53	47	69	59	52	76	61	54	49	45	38	27	0.48
1.50		92	73	64	57	51	73	64	58	80	66	60	53	49	42	30	0.48
2.00		98	81	73	63	58	78	71	65	84	73	67	58	54	47	33	0.48
2.50		102	87	80	67	63	82	76	70	87	77	72	62	59	50	36	0.48
3.00		105	92	85	71	66	85	79	75	89	80	76	65	62	53	39	0.48
4.00		108	97	91	74	71	88	83	79	91	84	80	68	65	56	41	0.48
5.00		110	101	96	77	74	90	86	83	92	87	83	70	68	58	42	0.48

Leuchtentyp: C 42.1 - Leuchten an Pendeln -

phu = 0.52 phisu = 0.51 phiso = 0.70

Wirkungsgrade in %

	rhoD	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5	0.3	0.0	Deckendirekt- anteil phil
	rhoW	0.8	0.5	0.3	0.5	0.3	0.7	0.5	0.3	0.8	0.5	0.3	0.5	0.3	0.3	0.0	
	rhoN	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	
	k																
0.60		54	30	23	27	21	40	29	23	49	29	23	26	21	20	14	0.25
0.80		64	39	31	35	28	48	37	30	58	38	31	33	28	26	19	0.28
1.00		72	47	38	40	34	55	43	36	64	44	37	39	33	30	23	0.31
1.25		79	55	46	47	40	62	51	43	70	52	44	45	39	36	27	0.34
1.50		84	62	52	51	45	66	56	49	74	57	50	49	43	39	30	0.36
2.00		92	71	62	58	52	73	63	56	79	65	58	54	49	44	33	0.38
2.50		96	78	69	63	57	77	69	62	83	70	64	59	54	48	36	0.40
3.00		100	83	75	66	61	81	73	67	86	74	68	62	58	51	39	0.41
4.00		104	89	82	71	66	85	78	73	88	79	74	65	62	54	41	0.42
5.00		107	94	88	74	70	87	82	77	90	82	78	68	65	56	42	0.43

Leuchtentyp: C 32.1 - Leuchten an der Decke -

phu = 0.52 phisu = 0.48 phiso = 0.69

Wirkungsgrade in %

	rhoD	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5	0.3	0.0	Deckendirekt- anteil phil
	rhoW	0.8	0.5	0.3	0.5	0.3	0.7	0.5	0.3	0.8	0.5	0.3	0.5	0.3	0.3	0.0	
	rhoN	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	
	k																
0.60		64	39	31	31	25	47	36	28	58	37	30	30	25	21	13	0.48
0.80		74	49	40	39	32	55	44	37	65	46	38	37	31	27	17	0.48
1.00		80	57	47	44	38	61	51	43	71	53	45	42	37	31	20	0.48
1.25		87	65	56	51	44	67	58	50	75	59	52	48	42	36	24	0.48
1.50		91	71	62	55	49	72	62	55	79	64	57	52	47	40	27	0.48
2.00		97	79	71	61	55	77	69	63	83	71	64	57	52	45	31	0.48
2.50		101	85	77	65	60	81	74	68	86	75	70	60	57	48	34	0.48
3.00		104	90	83	69	64	84	78	72	88	79	74	63	60	51	36	0.48
4.00		107	95	89	73	69	87	82	77	90	83	78	66	63	54	39	0.48
5.00		109	99	94	75	72	89	85	81	91	85	82	69	66	56	41	0.48

Anlagen, Teil 2

Relux-Berechnungsergebnisse

Anlage : Neues Büro

Projektnummer : 20140807

Kunde :

Bearbeiter : Jürgen Strödel

Datum : 14.08.2014

Projektbeschreibung:
Projekt im Rahmen einer Bachelorarbeit

Die nachfolgenden Werte basieren auf exakten Berechnungen an kalibrierten Lampen, Leuchten und deren Anordnung. In der Praxis können graduelle Abweichungen auftreten. Gewährleistungsansprüche für die Leuchten-Daten sind ausgeschlossen. Der Hersteller übernimmt keine Haftung für die Folgeschäden und Schäden, die dem Benutzer oder dritten gegenüber entstehen.

Inhaltsverzeichnis

Deckblatt	1
Inhaltsverzeichnis	2
1 Leuchtendaten	
1.1 TRILUX, Luceo (Luceo H UXP-S 235/49 03 (49W) E)	
1.1.1 Datenblatt	3
1.1.2 LVK	4
1.1.3 Blendungsbewertung nach UGR	5
2 20146002	
2.1 Beschreibung, 20146002	
2.1.1 Grundriss	6
2.2 Zusammenfassung, 20146002	
2.2.1 Ergebnisübersicht, Bewertungsbereich 1	7
2.3 Berechnungsergebnisse, 20146002	
2.3.1 Tabelle, Nutzebene 1.1 (E)	9
2.3.2 Tabelle, Nutzebene 1.1 (UGR, Nord (0°))	10
2.3.3 Isolinien, Nutzebene 1.1 (E)	11

1 Leuchtendaten

1.1 TRILUX, Luceo (Luceo H UXP-S 235/49 03 (49W) E)

1.1.1 Datenblatt

Hersteller: TRILUX



Luceo H UXP-S 235/49 03 (49W) E Abgehängte Montage Luceo

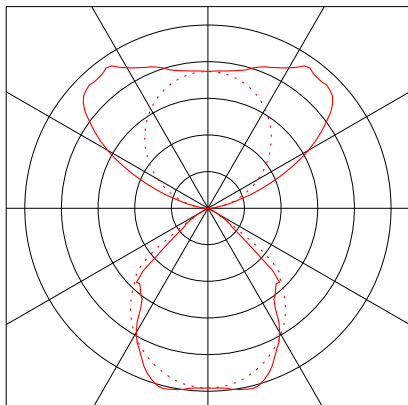
Hängeleuchte Sehr flache Bauhöhe von 24 mm. Parabolisch geformtes Niederquerschnitts-Raster in UXP-Technologie, satiniert. Mit hochreflektiver Oberfläche, Gesamtreflexion 98 %. Begrenzte Leuchtdichten $L < 1000 \text{ cd/m}^2$ für Ausstrahlungswinkel oberhalb 65° rundum. Leuchtenkörper Stahlblech, lösungsmittelfrei pulverlackiert. Farbe silbergrau (...03). L x B: 1586 mm x 180 mm, sichtbare Bauhöhe 24 mm. Mit rundum laufendem, ungeschnittenem unterseitigem Rand, 50 mm breit, sowie mit form- und kraftschlüssig integrierten, flachen Kopfstücken. Leuchte einschließlich transparenter Anschluss-Leitung für Abhängelängen von 1000 mm. Mit elektronischem Multi-Lamp-Vorschaltgerät.

Leuchtendaten

Leuchten-Wirkungsgrad	: 94.902%
Leuchten-Lichtausbeute	: 77 lm/W
Klassifikation	: D63 ↓38.2% ↑61.8%
CIE Flux Codes	: 71 98 99 38 95
UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%)	
C0 / C90	: 11.5 / 12.6
Betriebsmittel	: EVG (ML)
tot. Systemleistung	: 106 W
Länge	: 1586 mm
Breite	: 180 mm
Höhe	: 24 mm

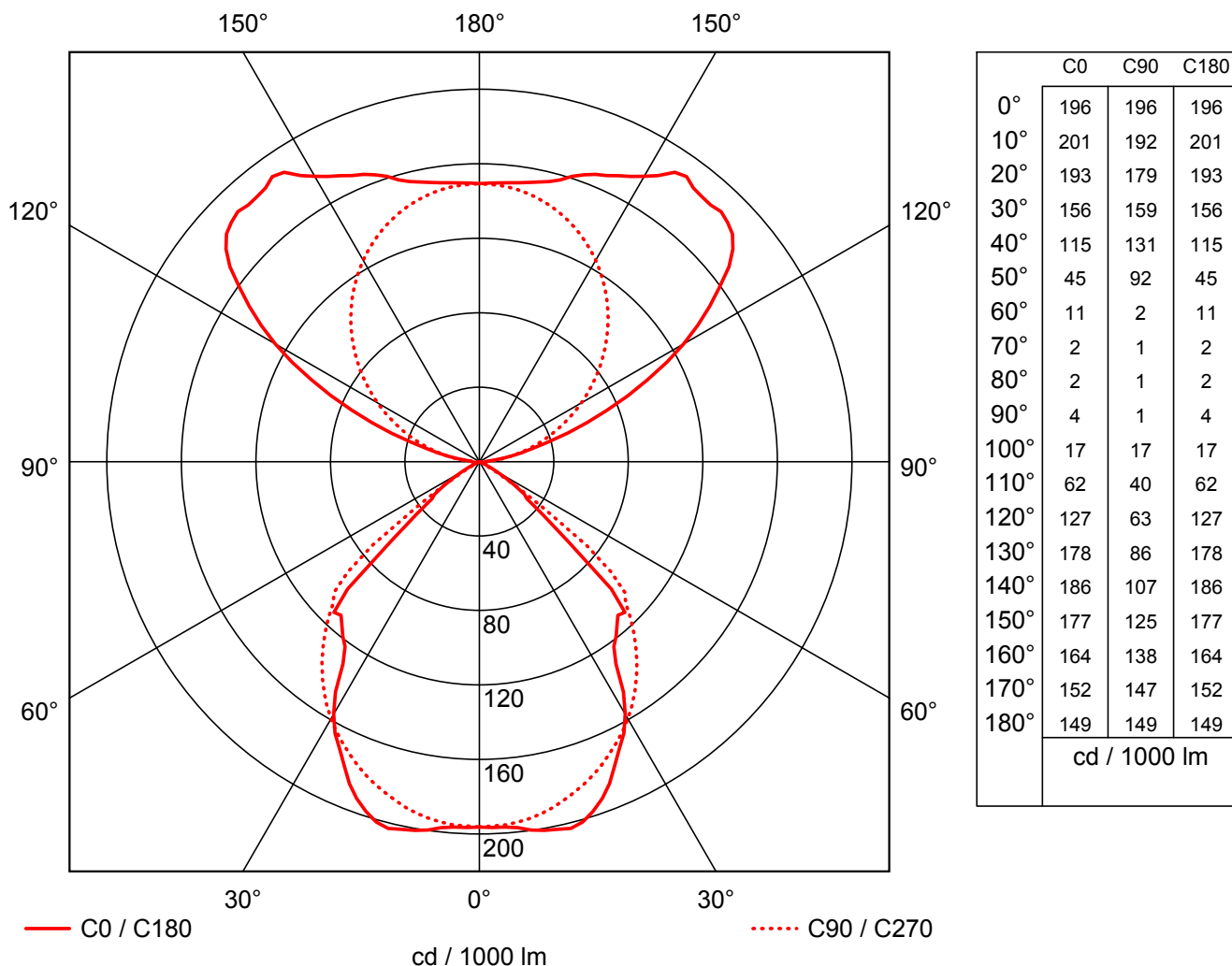
Bestückung mit

Anzahl	: 2
Bezeichnung	: T5 49 W
Leistung	: 49W
Farbe	: ww
Lichtstrom	: 4300 lm
Farbwiedergabe	: 1B



1.1 TRILUX, Luceo (Luceo H UXP-S 235/49 03 (49W) E)

1.1.2 LVK



Fabrikat : TRILUX
 Bestellnummer : Luceo H UXP-S 235/49 03 (49W) E
 Leuchtenname : Luceo
 Bestückung : 2 x T5 49 W 49W / 4300 lm
 Abmessungen : L 1586 mm x B 180 mm x H 24 mm
 Dateiname : rlx1735218375.ldt

Wirkungsgrad : 94.9%
 Leuchten-Lichtausbeute : 77 lm/W (D63)
 Lichtverteilung : sym. zu C0-C180 / C90-C270
 Ausstrahlungswinkel : -- C0-C180
 -- C90-C270

1.1 TRILUX, Luceo (Luceo H UXP-S 235/49 03 (49W) E)

1.1.3 Blendungsbewertung nach UGR

Reflexionsgrade

Decke	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3
Wände	0.5	0.3	0.5	0.3	0.3	0.5	0.3	0.5	0.3	0.3
Boden	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Raum Abmessungen

x y

Blick in C0 Richtung

Blick in C90 Richtung

2H	2H	11.9	12.6	13.0	13.7	15.1	13.3	14.0	14.4	15.1	16.5
	3H	11.7	12.4	12.8	13.4	14.9	13.1	13.7	14.2	14.8	16.3
	4H	11.6	12.2	12.7	13.3	14.8	13.0	13.6	14.1	14.7	16.1
	6H	11.6	12.1	12.7	13.2	14.7	12.9	13.5	14.0	14.6	16.0
	8H	11.6	12.1	12.7	13.2	14.7	12.9	13.4	14.0	14.5	15.9
	12H	11.7	12.2	12.8	13.2	14.7	12.8	13.3	13.9	14.4	15.9
4H	2H	11.8	12.4	12.9	13.4	14.9	13.1	13.7	14.2	14.8	16.2
	3H	11.6	12.1	12.7	13.2	14.6	12.9	13.4	14.0	14.5	15.9
	4H	11.5	12.0	12.6	13.1	14.6	12.8	13.3	13.9	14.3	15.8
	6H	11.5	11.9	12.6	13.0	14.5	12.7	13.1	13.8	14.2	15.7
	8H	11.5	11.9	12.7	13.0	14.5	12.6	13.0	13.8	14.1	15.6
	12H	11.7	12.1	12.9	13.2	14.7	12.6	12.9	13.7	14.0	15.6
8H	4H	11.4	11.7	12.5	12.8	14.3	12.6	13.0	13.8	14.1	15.6
	6H	11.3	11.6	12.5	12.7	14.3	12.5	12.8	13.6	13.9	15.4
	8H	11.5	11.7	12.6	12.9	14.4	12.5	12.8	13.6	13.9	15.4
	12H	11.8	12.0	12.9	13.2	14.7	12.4	12.7	13.6	13.8	15.3
12H	4H	11.3	11.6	12.4	12.7	14.3	12.6	12.9	13.7	14.0	15.6
	6H	11.3	11.6	12.5	12.7	14.2	12.5	12.8	13.6	13.9	15.4
	8H	11.5	11.7	12.6	12.8	14.3	12.4	12.7	13.6	13.8	15.3

Abstand der Leuchten: 0.25

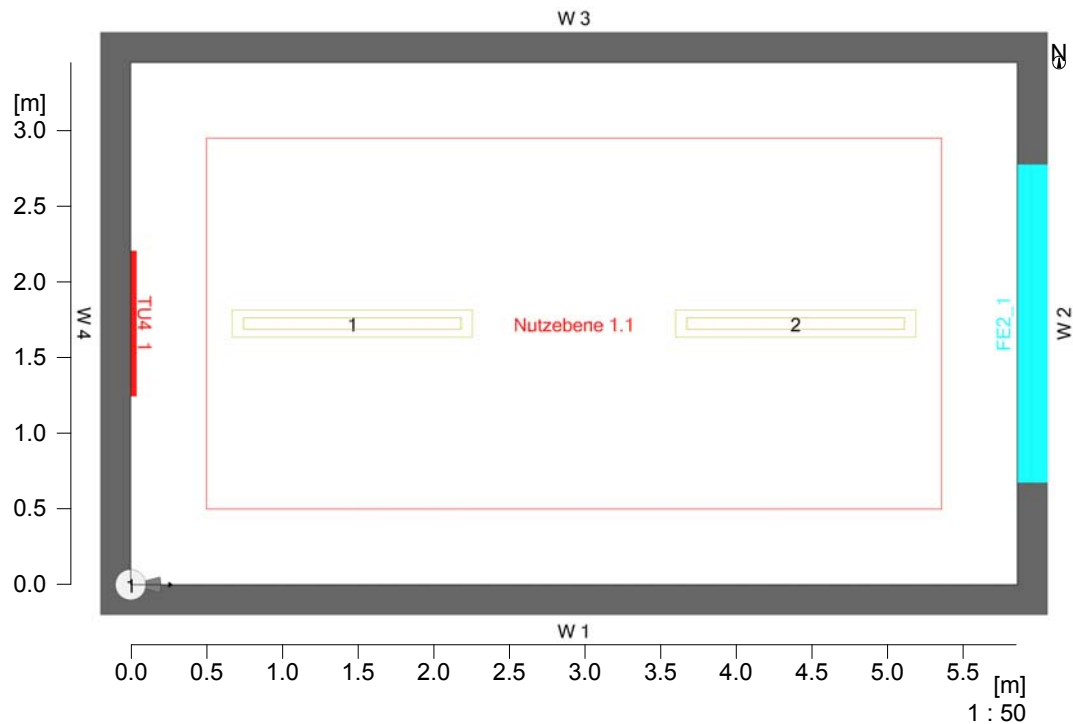
Fabrikat : TRILUX
 Bestellnummer : Luceo H UXP-S 235/49 03 (49W) E
 Leuchtenname : Luceo
 Bestückung : 2 x T5 49 W 49W / 4300 lm
 Abmessungen : L 1586 mm x B 180 mm x H 24 mm
 Dateiname : rlx1735218375.ldt

Wirkungsgrad : 94.9%
 Leuchten-Lichtausbeute : 77 lm/W (D63)
 Lichtverteilung : sym. zu C0-C180 / C90-C270
 Ausstrahlungswinkel : -- C0-C180
 -- C90-C270

2 20146002

2.1 Beschreibung, 20146002

2.1.1 Grundriss

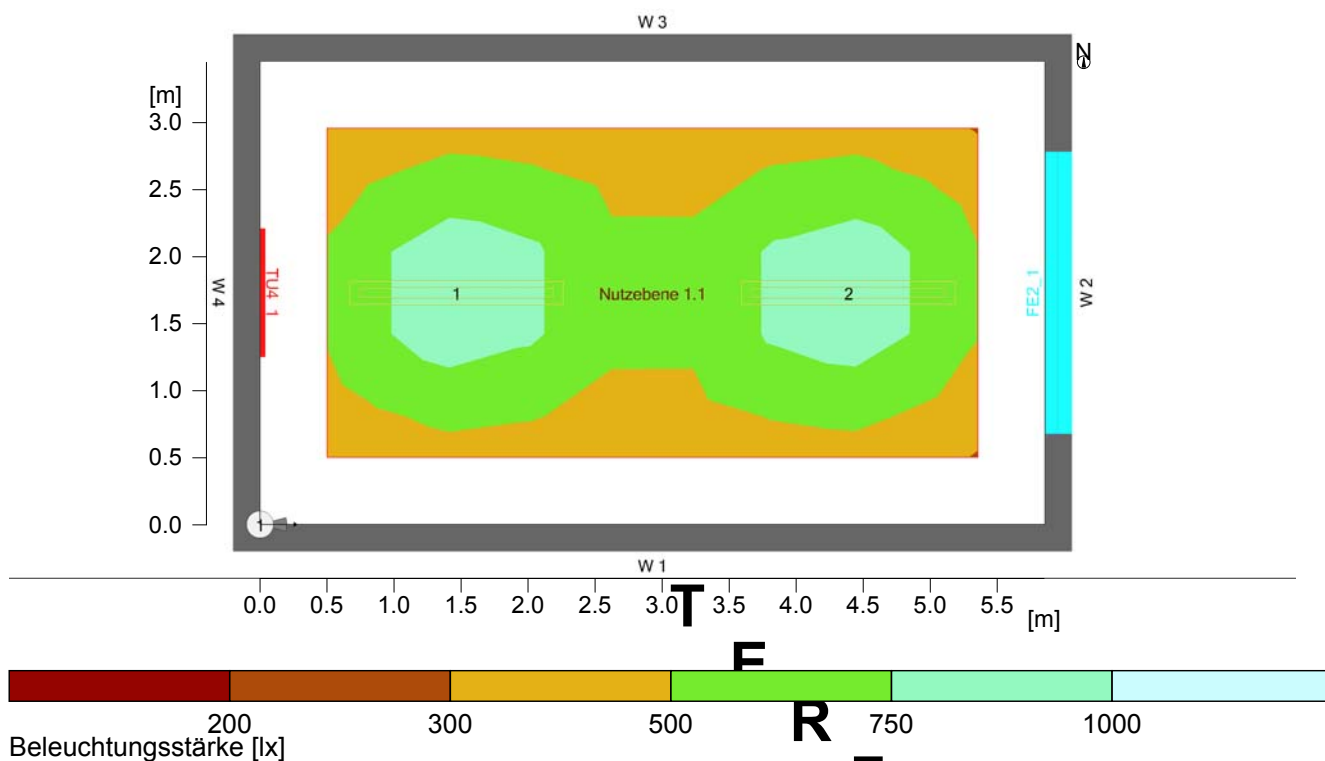


Wand	x	y	Länge	Reflexionsgrad
1	5.85 m	0.00 m	5.85 m	80.0 %
2	5.85 m	3.45 m	3.45 m	80.0 %
3	0.00 m	3.45 m	5.85 m	80.0 %
4	0.00 m	0.00 m	3.45 m	80.0 %
Boden				30.0 %
Decke				80.0 %
Raumhöhe		2.57 m		
Höhe Nutzebene		0.80 m		

2 20146002

2.2 Zusammenfassung, 20146002

2.2.1 Ergebnisübersicht, Bewertungsbereich 1



Allgemein

Verwendeter Rechenalgorithmus
 Höhe Leuchtenebene
 Wartungsfaktor

Mittlerer Indirektanteil
 2.07 m
 0.80

Gesamtlichtstrom aller Lampen
 Gesamtleistung
 Gesamtleistung pro Fläche (20.18 m²)

17200 lm
 212.0 W
 10.50 W/m² (1.73 W/m²/100lx)

Bewertungsbereich 1

Nutzebene 1.1

horizontale
 Em 607 lx
 Emin 431 lx
 Emin/Em (Uo) 0.71
 Emin/Emax (Ud) 0.48
 UGR (6.8H 4.0H) ≤12.7
 Position 0.80 m

Hauptoberflächen

	Em	Uo
M 1.5 (Decke)	767 lx	0.34
M 1.1 (Wand)	228 lx	0.87
M 1.2 (Wand)	263 lx	0.81
M 1.3 (Wand)	228 lx	0.87
M 1.4 (Wand)	261 lx	0.81

Typ Anz. Fabrikat

2 20146002

2.2 Zusammenfassung, 20146002

2.2.1 Ergebnisübersicht, Bewertungsbereich 1

1	Z	2	U	TRILUX	
				Bestell Nr.	: Luceo H UXP-S 235/49 03 (49W) E
				Leuchtenname	: Luceo
				Bestückung	: 2 x T5 49 W 49W / 4300 lm

W

E

N

I

G

I

N

T

E

R

F

L

E

X

I

O

N

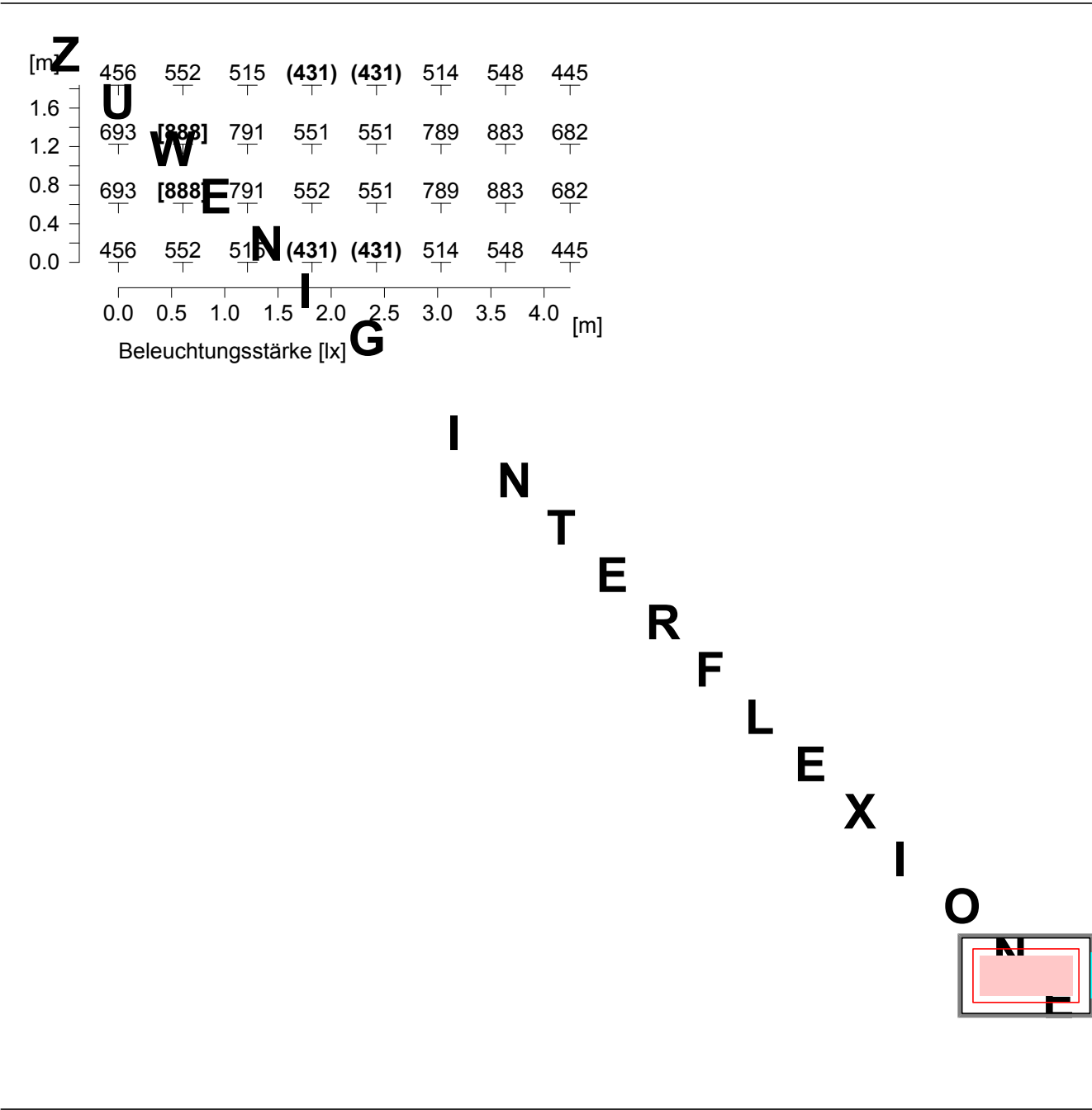
E

N

2 20146002

2.3 Berechnungsergebnisse, 20146002

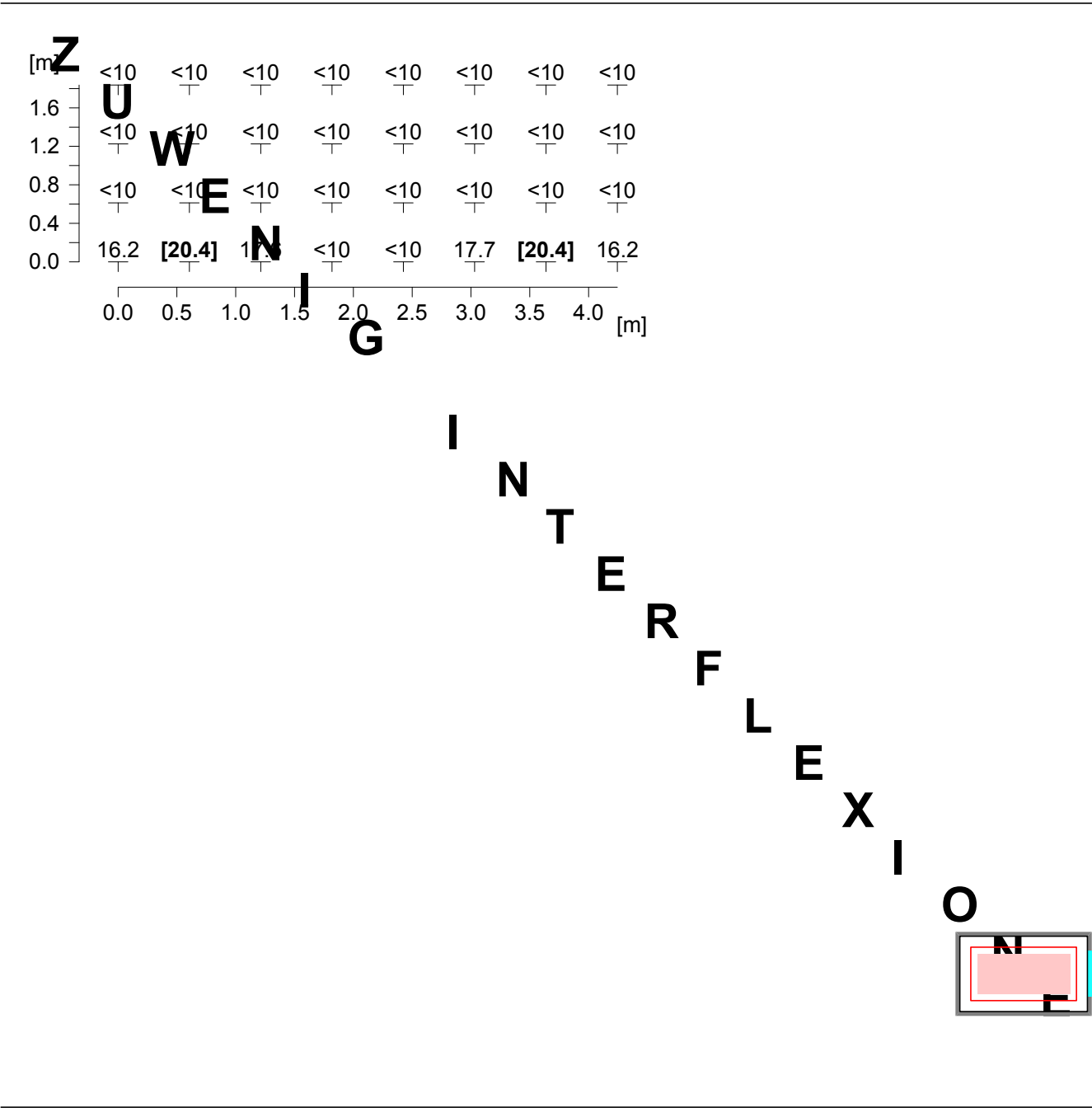
2.3.1 Tabelle, Nutzebene 1.1 (E)



Höhe der Bezugsebene	: 0.80 m
Mittlere Beleuchtungsstärke	Em : 607 lx
Minimale Beleuchtungsstärke	Emin : 431 lx
Maximale Beleuchtungsstärke	Emax : 888 lx
Gleichmäßigkeit Uo	Emin/Em : 1 : 1.41 (0.71)
Ungleichmäßigkeit Ud	Emin/Emax : 1 : 2.06 (0.48)

2.3 Berechnungsergebnisse, 20146002

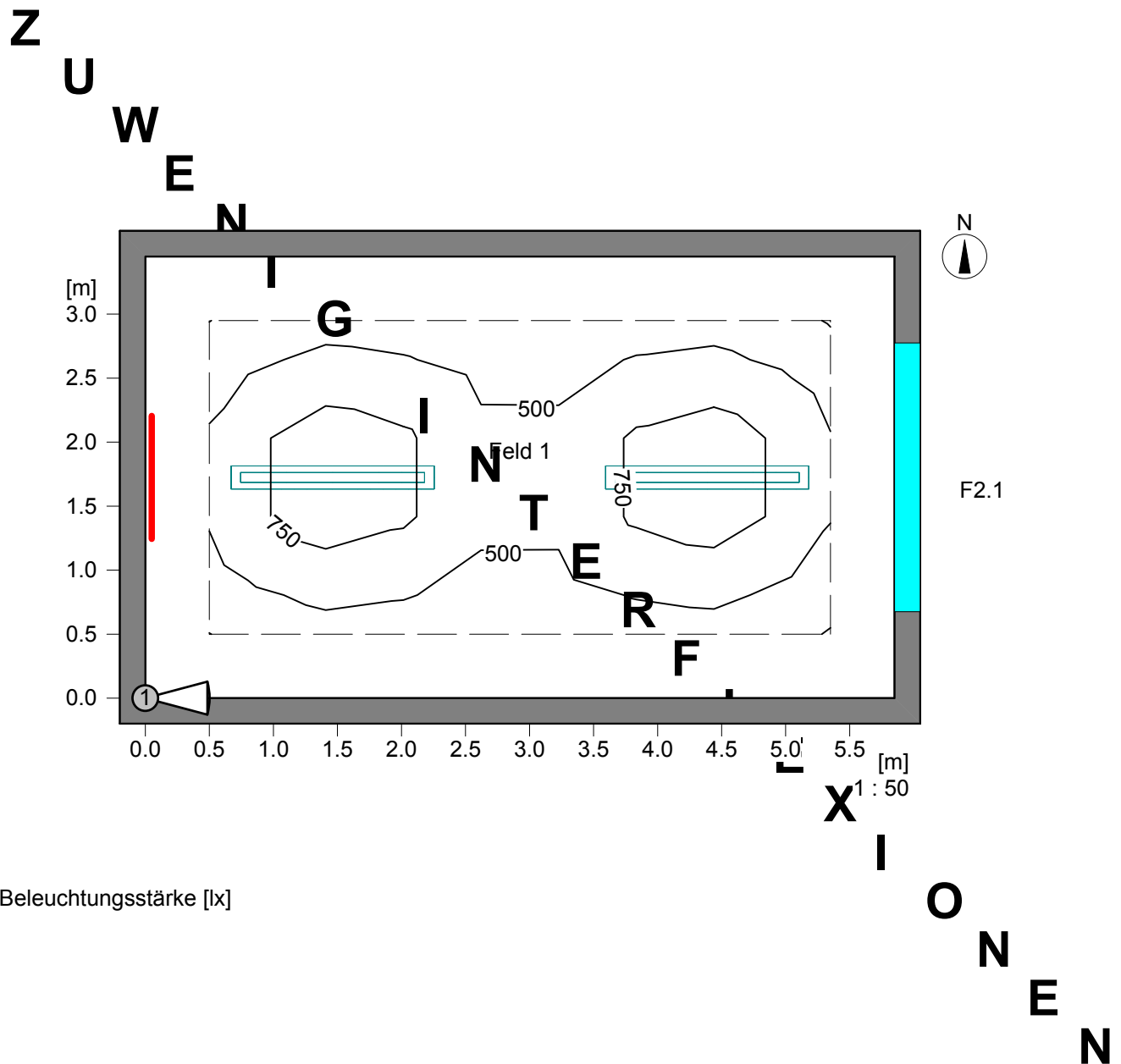
2.3.2 Tabelle, Nutzebene 1.1 (UGR, Nord (0°))



Höhe der Bezugsebene : 1.20 m
Aus Richtung : Nord (0°)
Minimal : <10
Maximal : 20.4

2.3 Berechnungsergebnisse, 20146002

2.3.3 Isolinien, Nutzebene 1.1 (E)



Höhe der Bezugsebene	: 0.80 m
Mittlere Beleuchtungsstärke	Em : 607 lx
Minimale Beleuchtungsstärke	Emin : 431 lx
Maximale Beleuchtungsstärke	Emax : 888 lx
Gleichmäßigkeit Uo	Emin/Em : 1 : 1.41 (0.71)
Ungleichmäßigkeit Ud	Emin/Emax : 1 : 2.06 (0.48)

Anlagen, Teil 3

Dialux-Berechnungsergebnisse

DIALux Projekt Büro

Projekt im Rahmen einer Belegarbeit im Modul Licht- und Gebäudesystemtechnik

Ansprechpartner(in):
Auftragsnr.:
Firma:
Kundennr.:

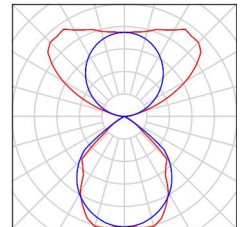
Datum: 04.08.2013
Bearbeiter(in): Jürgen Strödel



Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
Telefon
Fax
e-Mail

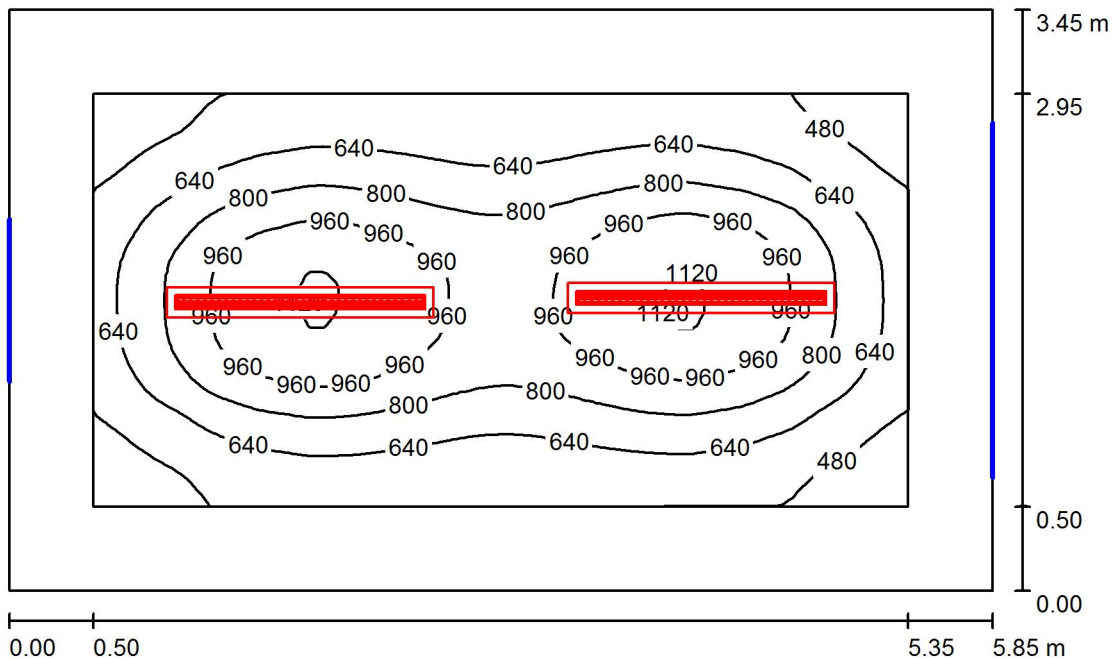
DIALux Projekt Büro / Leuchtenstückliste

2 Stück TRILUX Luceo H UXP-S 235/49 03 (49W) E
Luceo
Artikel-Nr.: Luceo H UXP-S 235/49 03 (49W) E
Lichtstrom (Leuchte): 8165 lm
Lichtstrom (Lampen): 8600 lm
Leuchtenleistung: 106.0 W
Leuchtenklassifikation nach DIN: D53
CIE Flux Code: 71 98 99 38 95
Bestückung: 2 x 2 x T5 49 W E (Korrekturfaktor
1.000).



Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
 Telefon
 Fax
 e-Mail

001 / Zusammenfassung



Raumhöhe: 2.570 m, Montagehöhe: 2.070 m, Wartungsfaktor: 0.80

Werte in Lux, Maßstab 1:45

Fläche	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	g_1
Nutzebene	/	743	377	1138	0.508
Boden	30	520	300	721	0.577
Decke	80	587	187	2137	0.318
Wände (4)	80	288	206	412	/

Nutzebene:

Höhe: 0.800 m
 Raster: 64 x 32 Punkte
 Randzone: 0.500 m

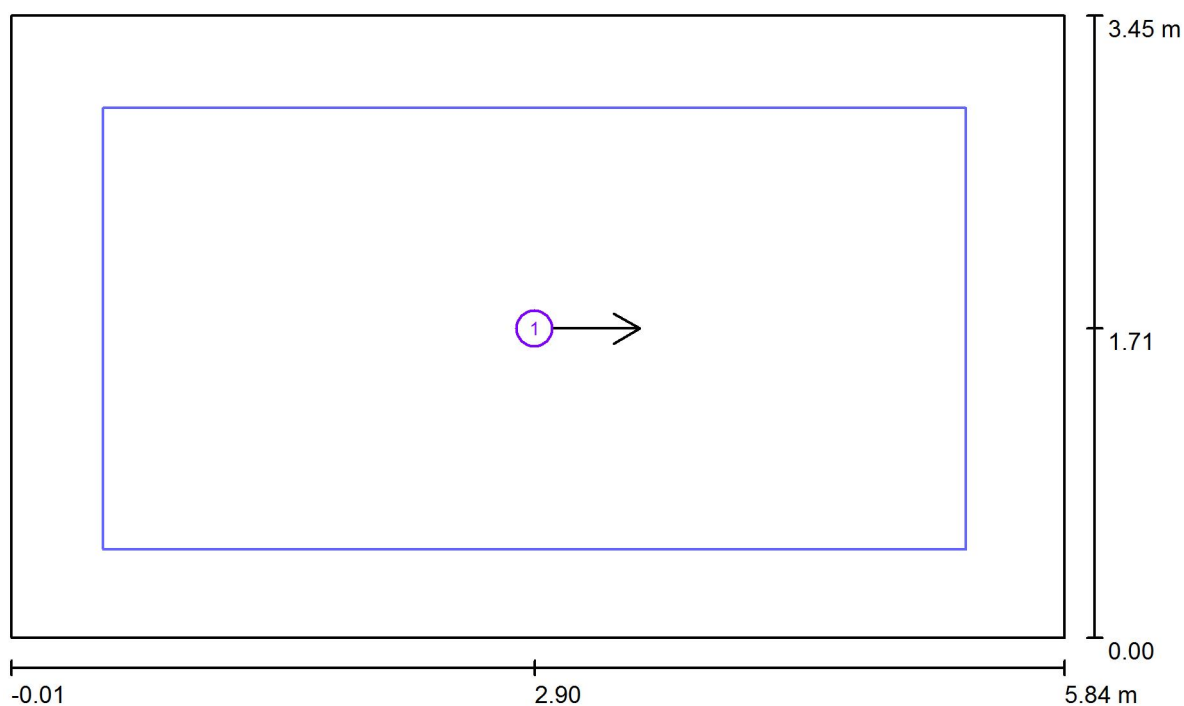
Leuchten-Stückliste

Nr.	Stück	Bezeichnung (Korrekturfaktor)	Φ (Leuchte) [lm]	Φ (Lampen) [lm]	P [W]
1	2	TRILUX Luceo H UXP-S 235/49 03 (49W) E Luceo (1.000)	8165	8600	106.0
Gesamt:			16330	17200	212.0

Spezifischer Anschlußwert: $10.50 \text{ W/m}^2 = 1.41 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Grundfläche: 20.18 m^2)



Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
Telefon
Fax
e-Mail

001 / UGR-Flächen (Koordinatenliste)

Maßstab 1 : 42

UGR-Flächenliste

Nr.	Bezeichnung	Position [m]			Größe [m]		Blickrichtung [°]
		X	Y	Z	L	B	
1	UGR Berechnungsfläche	2.898	1.715	1.200	4.792	2.451	0.0



Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
Telefon
Fax
e-Mail

001 / Lichttechnische Ergebnisse

Gesamtlichtstrom: 16330 lm
Gesamtleistung: 212.0 W
Wartungsfaktor: 0.80
Randzone: 0.500 m

Fläche	Mittlere Beleuchtungsstärken [lx]			Reflexionsgrad [%]	Mittlere Leuchtdichte [cd/m²]
	direkt	indirekt	gesamt		
Nutzebene	358	385	743	/	/
Boden	197	323	520	30	50
Decke	385	202	587	80	149
Wand 1	26	267	293	80	75
Wand 2	36	243	279	80	71
Wand 3	26	266	292	80	74
Wand 4	26	252	278	80	71

Gleichmäßigkeiten auf der Nutzebene

g_1 : 0.508 (1:2)

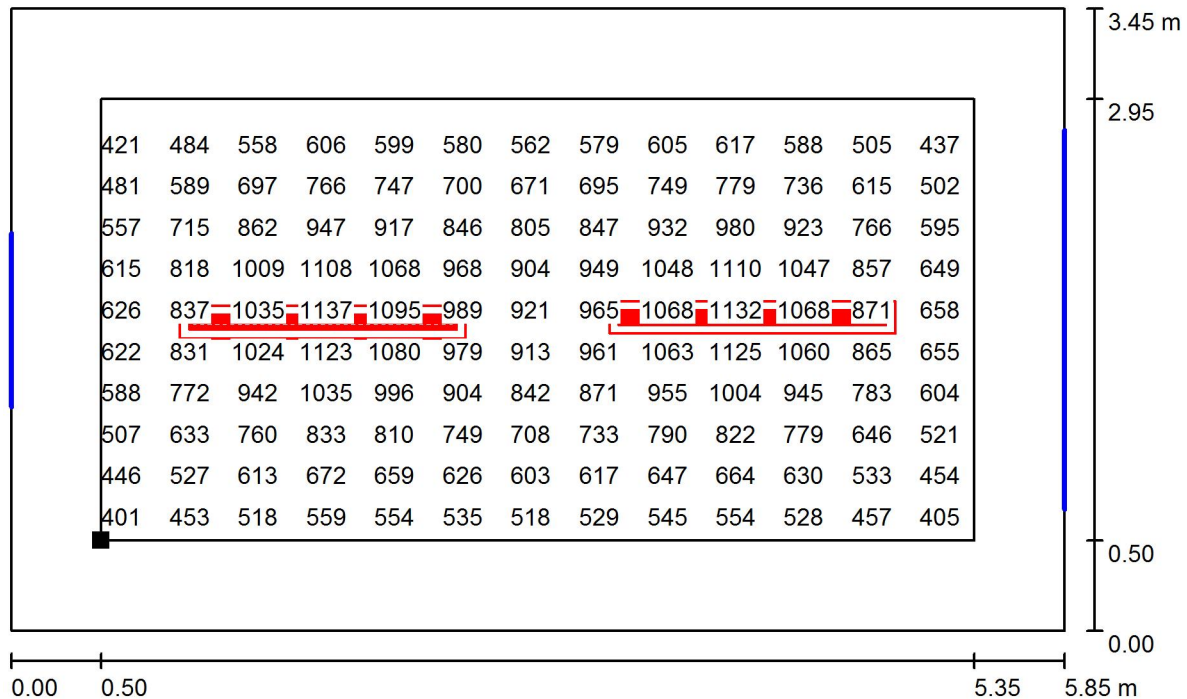
g_2 : 0.331 (1:3)

Spezifischer Anschlußwert: $10.50 \text{ W/m}^2 = 1.41 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Grundfläche: 20.18 m^2)



Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
 Telefon
 Fax
 e-Mail

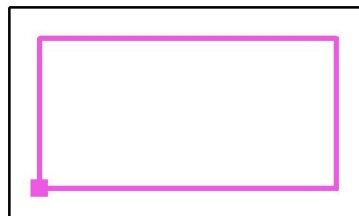
001 / Nutzebene / Wertegrafik (E)



Werte in Lux, Maßstab 1 : 42

Nicht alle berechneten Werte können dargestellt werden.

Lage der Fläche im Raum:
 Nutzebene mit 0.500 m Randzone
 Markierter Punkt:
 (0.490 m, 0.500 m, 0.800 m)



Raster: 64 x 32 Punkte

E_m [lx]
743

E_{min} [lx]
377

E_{max} [lx]
1138

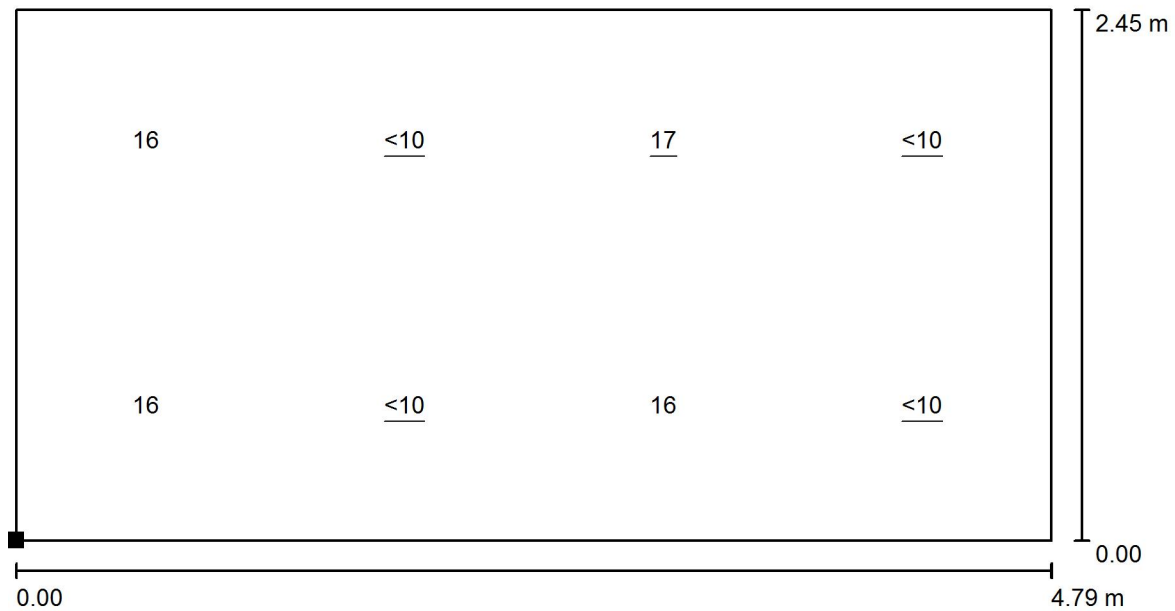
g_1
0.508

g_2
0.331



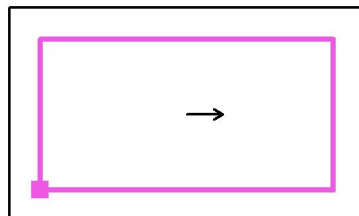
Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
Telefon
Fax
e-Mail

001 / UGR Berechnungsfläche / Wertegrafik (UGR)



Maßstab 1 : 35

Lage der Fläche im Raum:
Markierter Punkt:
(0.502 m, 0.489 m, 1.200 m)



Raster: 4 x 2 Punkte

Min
/

Max
17

Anlagen, Teil 4

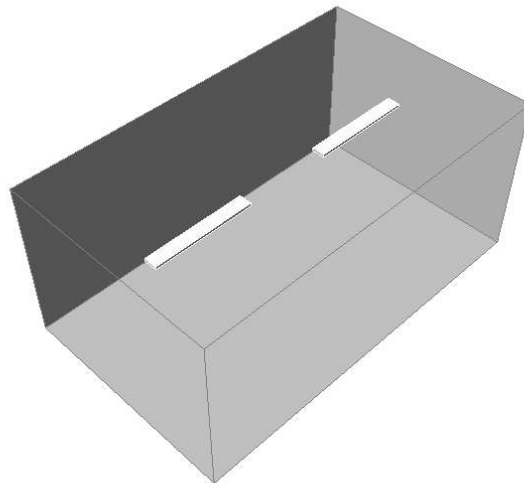
Glamox, Leuchtenanordnung Ausdruck

Leuchtenanordnung Ausdruck

Raumbez.	-Büro			
Raumdimensionen	Länge x (m)	5,84	Montagehöhe z (m)	2,07
	Breite y (m)	3,45	Arbeitsebene (m)	0,8
	Raumhöhe z (m)	2,57	Wartungsfaktor	0,8
	Fläche (m²)	20,15		
Reflektion	Decke	80 %		
	Wände	80 %		
	Boden	30 %		
Berechnungsergebnis				
	Lux	601 Lux		
	Totale Anschlußleistung	0,21 kW		
	Anschlußleistung total	10,52 W/m²		

Leuchtdaten

Nr	Anz.	Leuchtentyp	Anz. Lampe	Lm	Lampe	Watt
C20070563	2	C20-P4 GR 235/49HF PRE C2,5 DU	2	8600	T5 49W HO	106



Anlagen, Teil 5

Dialux-Referenzprojekt, Berechnungsergebnisse

DIALux Projekt Büro

Projekt im Rahmen einer Belegarbeit im Modul Licht- und Gebäudesystemtechnik

Ansprechpartner(in):
Auftragsnr.:
Firma:
Kundennr.:

Datum: 22.08.2014
Bearbeiter(in): Jürgen Strödel



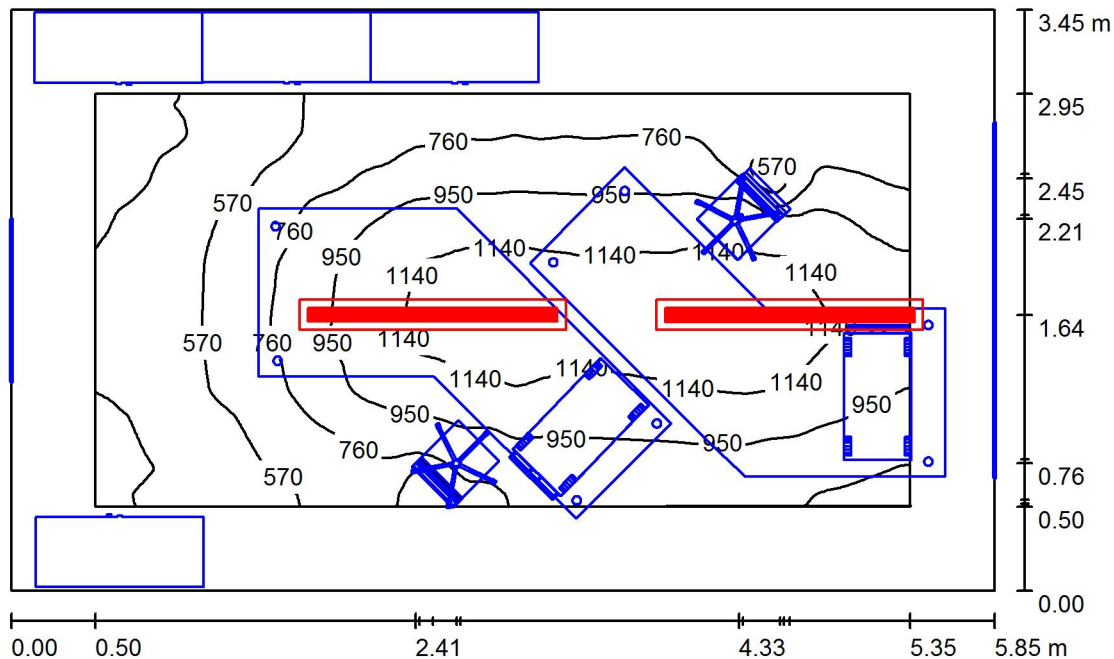
Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
 Telefon
 Fax
 e-Mail

Inhaltsverzeichnis

DIALux Projekt Büro	
Projektdeckblatt	1
Inhaltsverzeichnis	2
Büro	
Zusammenfassung	3
Leuchtenstückliste	4
Leuchten (Lageplan)	5
Leuchten (Koordinatenliste)	6
Berechnungsraster (Koordinatenliste)	7
Lichttechnische Ergebnisse	8
Berechnungsflächen (Ergebnisübersicht)	9
UGR-Beobachter (Ergebnisübersicht)	10
Raumflächen	
Verkehrsfläche	
Tabelle (E, senkrecht)	11
Arbeitsplätze	
Umgebungsbereich	
Isolinien (E)	15
Wertegrafik (E)	16
Berechnungsraster1	
Zusammenfassung	17
Wertegrafik (E, senkrecht)	18
Punktwerte (E, senkrecht)	19
Berechnungsraster2	
Zusammenfassung	21
Wertegrafik (E, senkrecht)	22
Punktwerte (E, senkrecht)	23

Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
 Telefon
 Fax
 e-Mail

Büro / Zusammenfassung



Raumhöhe: 2.570 m, Montagehöhe: 2.270 m, Wartungsfaktor: 0.80

Werte in Lux, Maßstab 1:45

Fläche	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	g_1
Nutzebene	/	832	321	1236	0.386
Boden	14	317	24	650	0.076
Decke	90	687	18	3700	0.026
Wände (4)	90	289	3.93	940	/

Nutzebene:

Höhe: 0.800 m
 Raster: 128 x 128 Punkte
 Randzone: 0.500 m

Leuchten-Stückliste

Nr.	Stück	Bezeichnung (Korrekturfaktor)	Φ (Leuchte) [lm]	Φ (Lampen) [lm]	P [W]
1	2	TRILUX Luceo H UXP-S 235/49 03 (49W) E Luceo (1.000)	8165	8600	106.0
Gesamt:			16330	17200	212.0

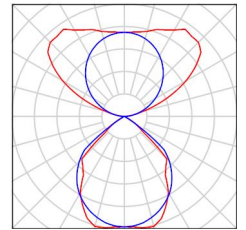
Spezifischer Anschlußwert: $10.50 \text{ W/m}^2 = 1.26 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Grundfläche: 20.18 m^2)



Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
Telefon
Fax
e-Mail

Büro / Leuchtenstückliste

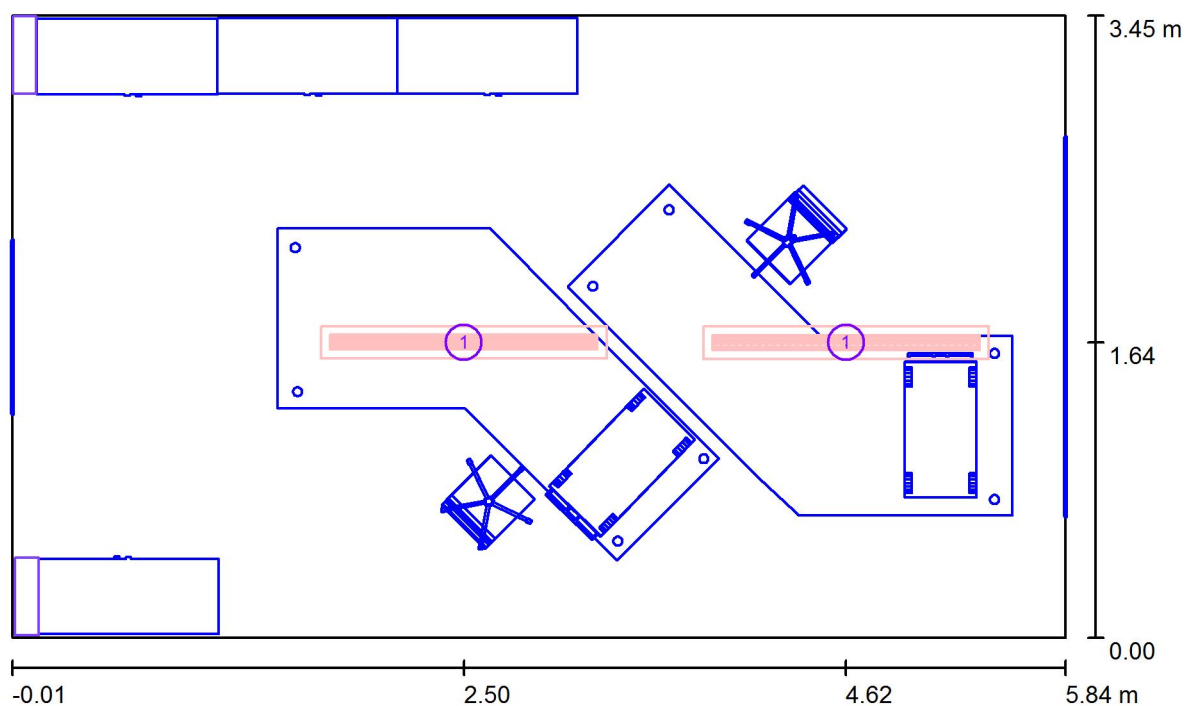
2 Stück TRILUX Luceo H UXP-S 235/49 03 (49W) E
Luceo
Artikel-Nr.: Luceo H UXP-S 235/49 03 (49W) E
Lichtstrom (Leuchte): 8165 lm
Lichtstrom (Lampen): 8600 lm
Leuchtenleistung: 106.0 W
Leuchtenklassifikation nach DIN: D53
CIE Flux Code: 71 98 99 38 95
Bestückung: 2 x 2 x T5 49 W E (Korrekturfaktor
1.000).





Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
Telefon
Fax
e-Mail

Büro / Leuchten (Lageplan)



Maßstab 1 : 42

Leuchten-Stückliste

Nr.	Stück	Bezeichnung
1	2	TRILUX Luceo H UXP-S 235/49 03 (49W) E Luceo

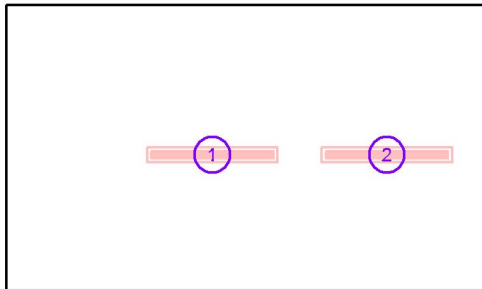


Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
Telefon
Fax
e-Mail

Büro / Leuchten (Koordinatenliste)

TRILUX Luceo H UXP-S 235/49 03 (49W) E Luceo

8165 lm, 106.0 W, 1 x 2 x 2 x T5 49 W E (Korrekturfaktor 1.000).

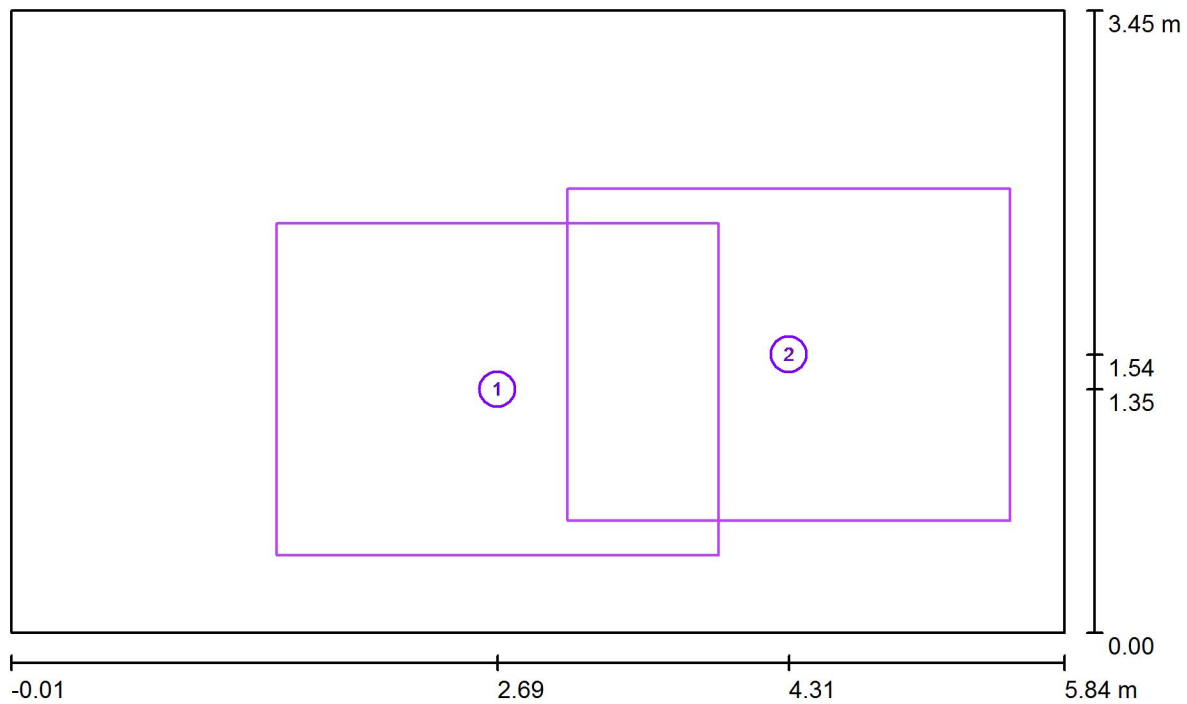


Nr.	Position [m]			Rotation [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	2.499	1.639	2.270	0.0	0.0	-90.0
2	4.622	1.638	2.270	0.0	0.0	-90.0



Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
 Telefon
 Fax
 e-Mail

Büro / Berechnungsraster (Koordinatenliste)



Maßstab 1 : 42

Liste der Berechnungsraster

Nr.	Bezeichnung	Position [m]			Größe [m]		Rotation [°]		
		X	Y	Z	L	B	X	Y	Z
1	Berechnungsraster1	2.691	1.350	0.800	2.456	1.842	0.0	0.0	0.0
2	Berechnungsraster2	4.310	1.544	0.800	2.456	1.842	0.0	0.0	180.0



Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
Telefon
Fax
e-Mail

Büro / Lichttechnische Ergebnisse

Gesamtlichtstrom: 16330 lm
Gesamtleistung: 212.0 W
Wartungsfaktor: 0.80
Randzone: 0.500 m

Fläche	Mittlere Beleuchtungsstärken [lx]			Reflexionsgrad [%]	Mittlere Leuchtdichte [cd/m²]
	direkt	indirekt	gesamt		
Nutzebene	318	514	832	/	/
Verkehrsfläche	64	270	335	/	/
Boden	67	250	317	14	14
Decke	395	291	687	90	197
Wand 1	28	320	348	90	100
Wand 2	47	341	388	90	111
Wand 3	13	197	210	90	60
Wand 4	6.41	216	223	90	64

Gleichmäßigkeiten auf der Nutzebene

g_1 : 0.386 (1:3)

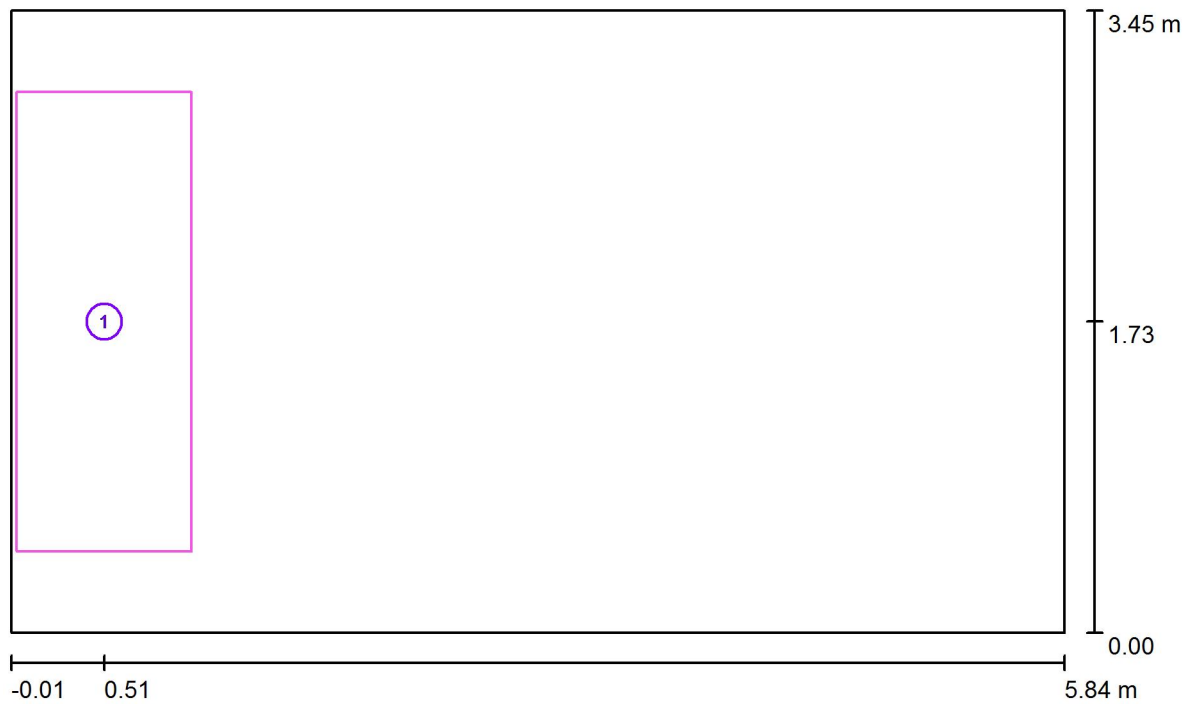
g_2 : 0.260 (1:4)

Spezifischer Anschlußwert: $10.50 \text{ W/m}^2 = 1.26 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Grundfläche: 20.18 m^2)



Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
Telefon
Fax
e-Mail

Büro / Berechnungsflächen (Ergebnisübersicht)



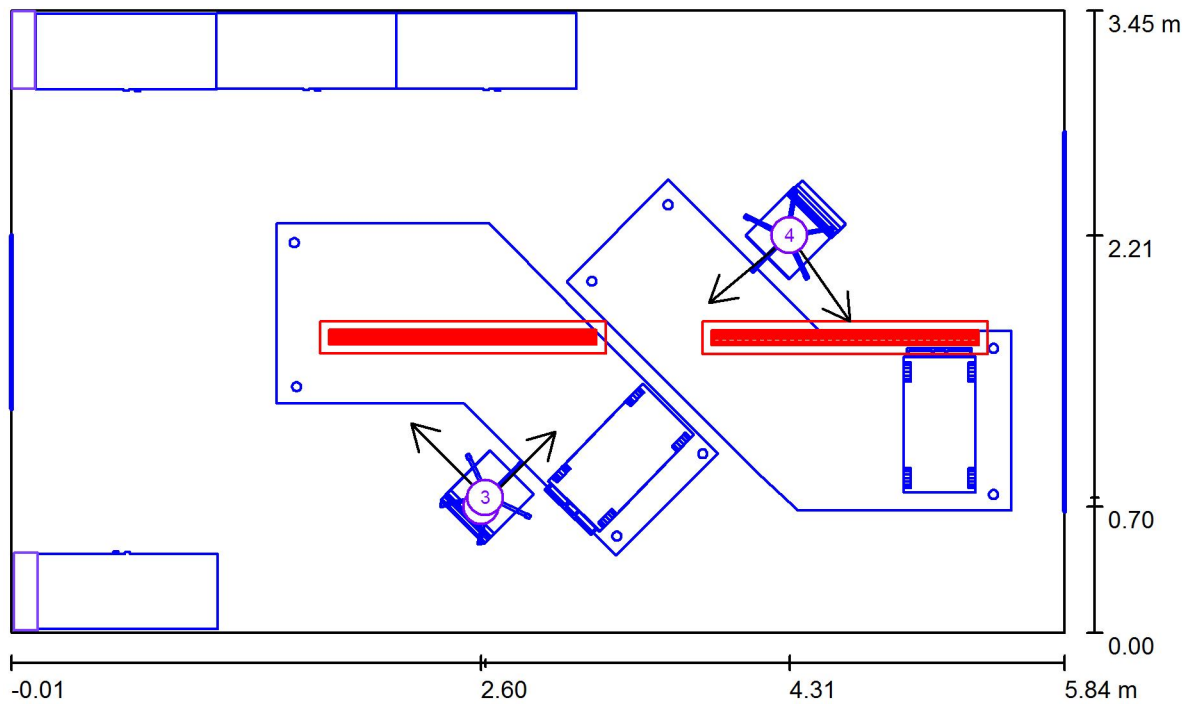
Maßstab 1 : 42

Berechnungsflächenliste

Nr.	Bezeichnung	Typ	Raster	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	g_1	g_2
1	Verkehrsfläche	senkrecht	16 x 32	335	274	397	0.818	0.689

Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
 Telefon
 Fax
 e-Mail

Büro / UGR-Beobachter (Ergebnisübersicht)



Maßstab 1 : 42

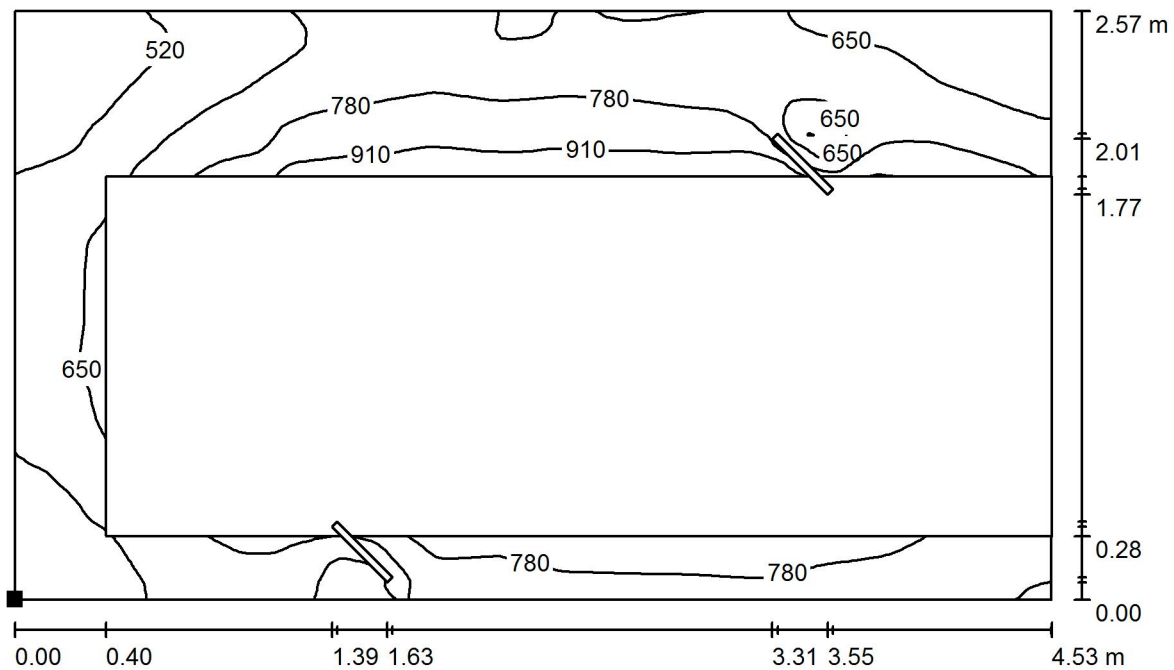
UGR Berechnungspunktliste

Nr.	Bezeichnung	Position [m]			Blickrichtung [°]	Wert
		X	Y	Z		
1	UGR Berechnungspunkt 1	2.600	0.700	1.200	45.0	12
2	UGR Berechnungspunkt 2	4.314	2.205	1.200	-140.0	/
3	UGR Berechnungspunkt 1-1	2.624	0.749	1.200	135.0	15
4	UGR Berechnungspunkt 2-1	4.314	2.205	1.200	-55.0	15



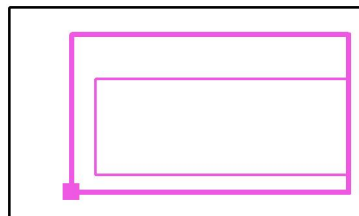
Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
 Telefon
 Fax
 e-Mail

Büro / Arbeitsplätze / Umgebungsbereich / Isolinien (E)



Werte in Lux, Maßstab 1 : 33

Lage der Fläche im Raum:
 Markierter Punkt:
 (1.011 m, 0.441 m, 0.800 m)



Raster: 128 x 128 Punkte

E_m [lx]
 679

E_{min} [lx]
 389

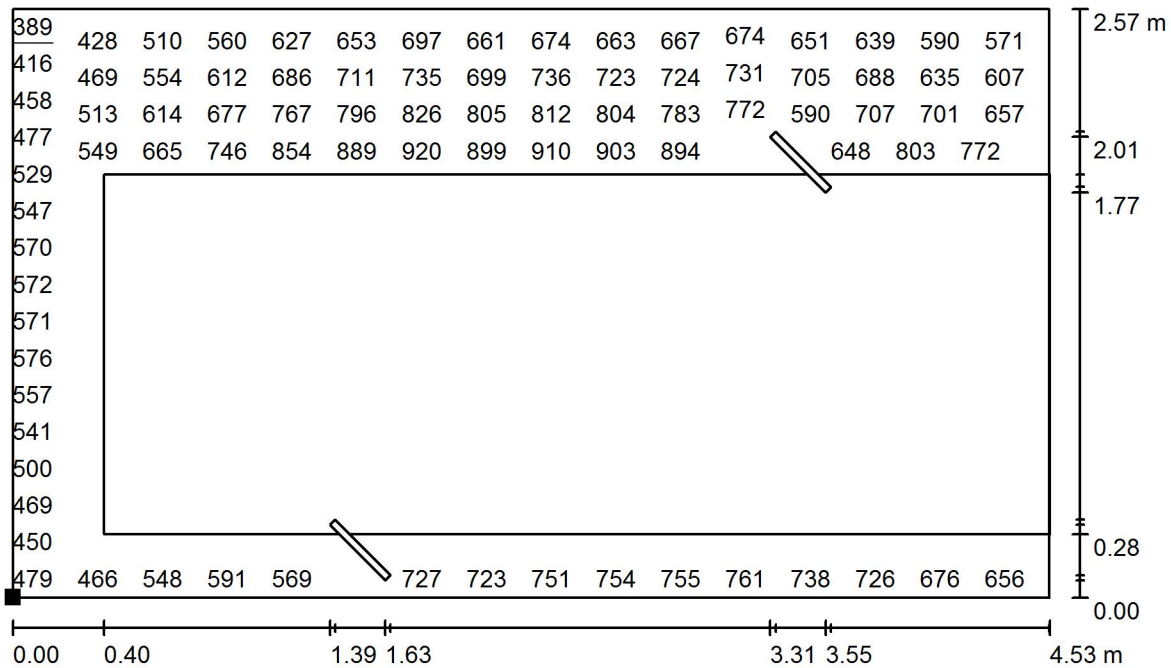
E_{max} [lx]
 1020

g_1
 0.572

g_2
 0.381

Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
 Telefon
 Fax
 e-Mail

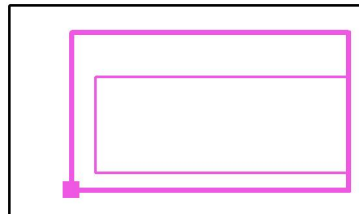
Büro / Arbeitsplätze / Umgebungsbereich / Wertegrafik (E)



Werte in Lux, Maßstab 1 : 33

Nicht alle berechneten Werte können dargestellt werden.

Lage der Fläche im Raum:
 Markierter Punkt:
 (1.011 m, 0.441 m, 0.800 m)



Raster: 128 x 128 Punkte

E_m [lx]
679

E_{min} [lx]
389

E_{max} [lx]
1020

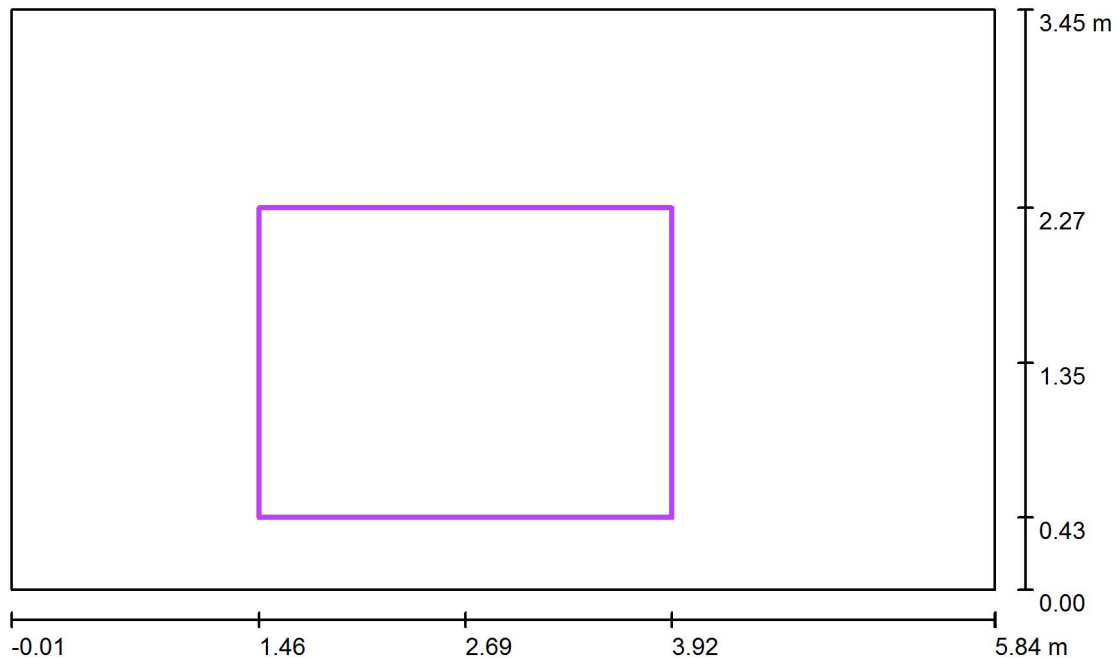
g_1
0.572

g_2
0.381



Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
 Telefon
 Fax
 e-Mail

Büro / Berechnungsraster1 / Zusammenfassung



Maßstab 1 : 45

Position: (2.691 m, 1.350 m, 0.800 m)
 Größe: (2.456 m, 1.842 m)
 Rotation: (0.0°, 0.0°, 0.0°)
 Typ: Benutzerdefiniert, Anzahl Punkte: 20

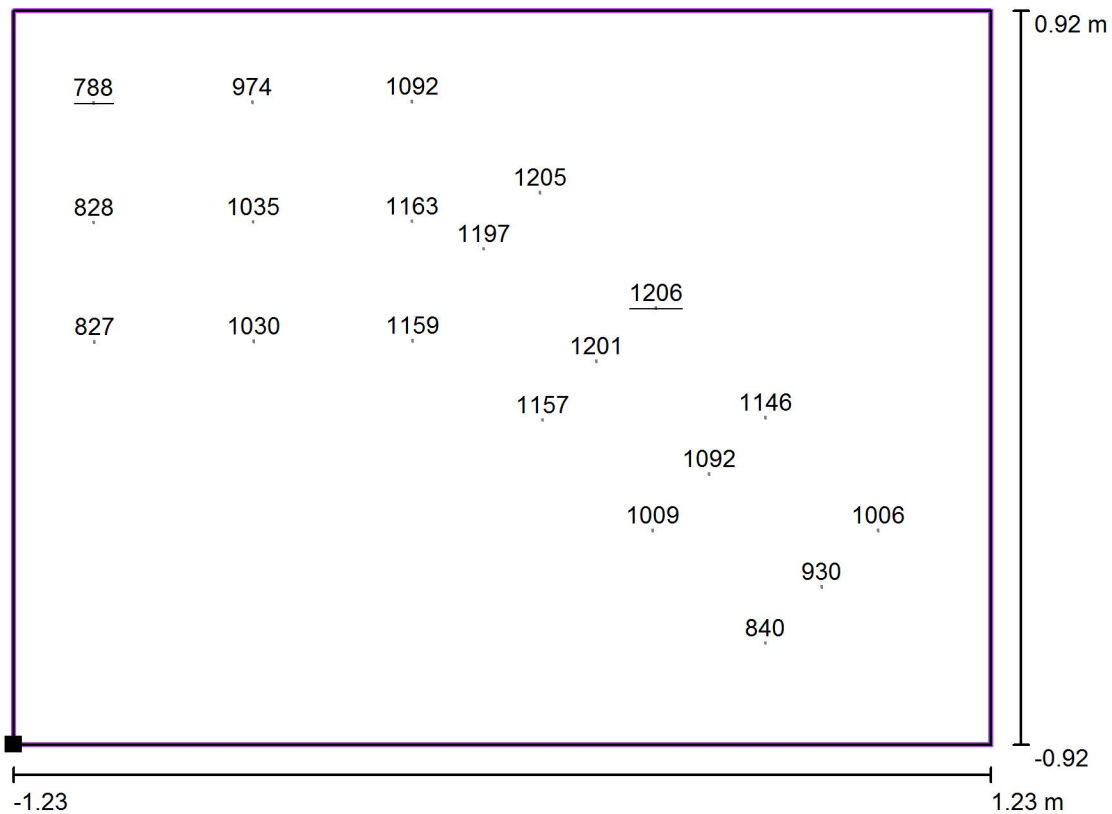
Ergebnisübersicht

Nr.	Typ	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	g_1	g_2	$E_{h\ m}/E_m$	H [m]	Kamera
1	senkrecht	1044	788	1206	0.75	0.65	/	0.000	/

$E_{h\ m}/E_m$ = Verhältnis zwischen mittlerer horizontaler und vertikaler Beleuchtungsstärke, H = Messhöhe

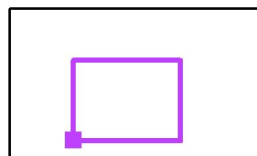
Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
 Telefon
 Fax
 e-Mail

Büro / Berechnungsraster1 / Wertegrafik (E, senkrecht)



Werte in Lux, Maßstab 1 : 19

Lage der Fläche im Raum:
 Markierter Punkt: (1.463 m, 0.429 m,
 0.800 m)



Raster: 20 Punkte

E_m [lx]
 1044

E_{min} [lx]
 788

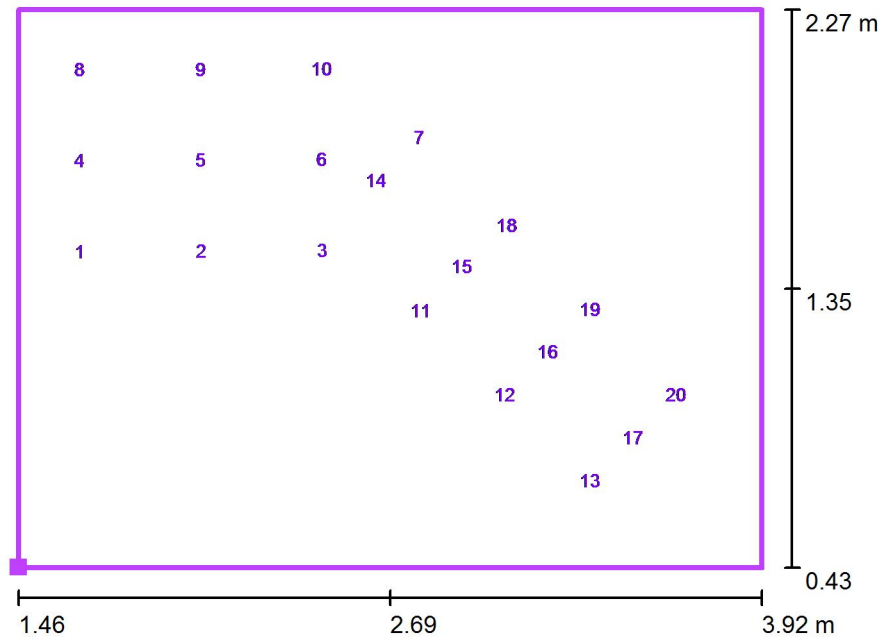
E_{max} [lx]
 1206

g_1
 0.75

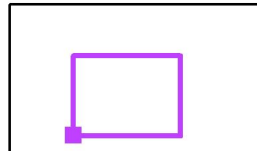
g_2
 0.65

Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
 Telefon
 Fax
 e-Mail

Büro / Berechnungsraster1 / Punktwerte (E, senkrecht)



Lage der Fläche im Raum:
 Markierter Punkt: (1.463 m, 0.429 m,
 0.800 m)



Nr.	Position [m]			Wert [lx]
	X	Y	Z	
1	1.667	1.472	0.800	827
2	2.067	1.473	0.800	1030
3	2.467	1.475	0.800	1159
4	1.665	1.772	0.800	828
5	2.065	1.773	0.800	1035

Anzahl Punkte: 20

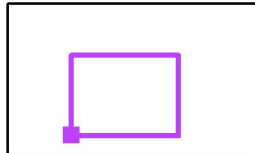
E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	g_1	g_2
1044	788	1206	0.75	0.65



Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
 Telefon
 Fax
 e-Mail

Büro / Berechnungsraster1 / Punktwerte (E, senkrecht)

Lage der Fläche im Raum:
 Markierter Punkt: (1.463 m, 0.429 m,
 0.800 m)



Nr.	Position [m]			Wert [lx]
	X	Y	Z	
6	2.465	1.775	0.800	1163
7	2.787	1.847	0.800	1205
8	1.664	2.072	0.800	788
9	2.064	2.073	0.800	974
10	2.464	2.075	0.800	1092
11	2.792	1.276	0.800	1157
12	3.070	0.999	0.800	1009
13	3.353	0.716	0.800	840
14	2.646	1.706	0.800	1197
15	2.929	1.423	0.800	1201
16	3.212	1.140	0.800	1092
17	3.494	0.857	0.800	930
18	3.077	1.557	0.800	1206
19	3.353	1.282	0.800	1146
20	3.636	0.999	0.800	1006

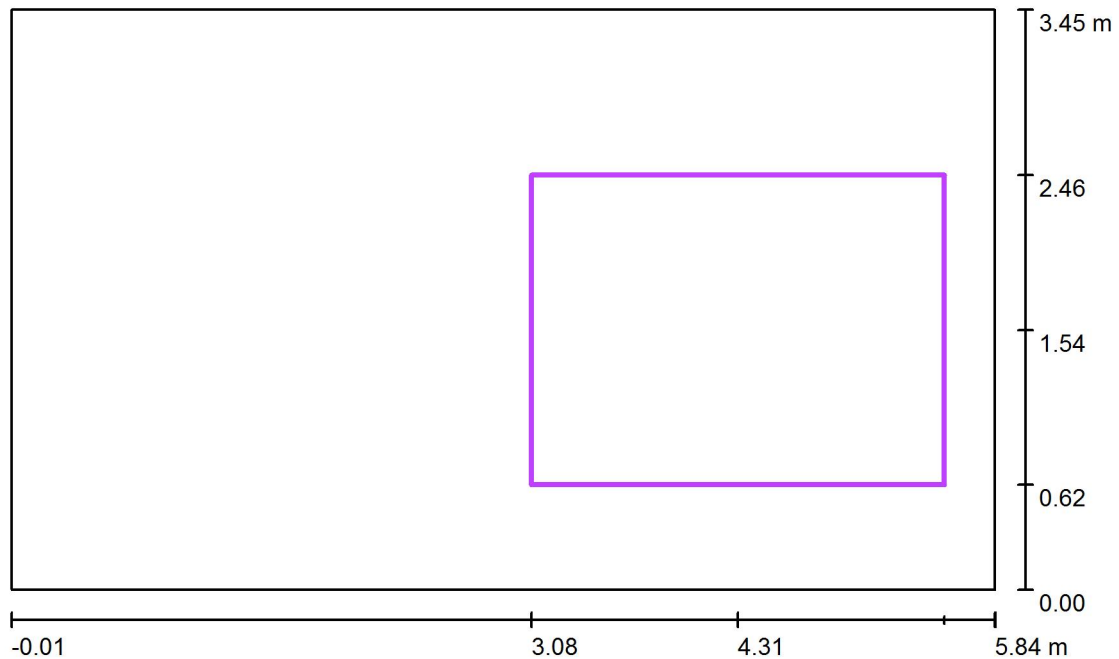
Anzahl Punkte: 20

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	g_1	g_2
1044	788	1206	0.75	0.65



Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
 Telefon
 Fax
 e-Mail

Büro / Berechnungsraster2 / Zusammenfassung



Maßstab 1 : 45

Position: (4.310 m, 1.544 m, 0.800 m)
 Größe: (2.456 m, 1.842 m)
 Rotation: (0.0°, 0.0°, 180.0°)
 Typ: Benutzerdefiniert, Anzahl Punkte: 20

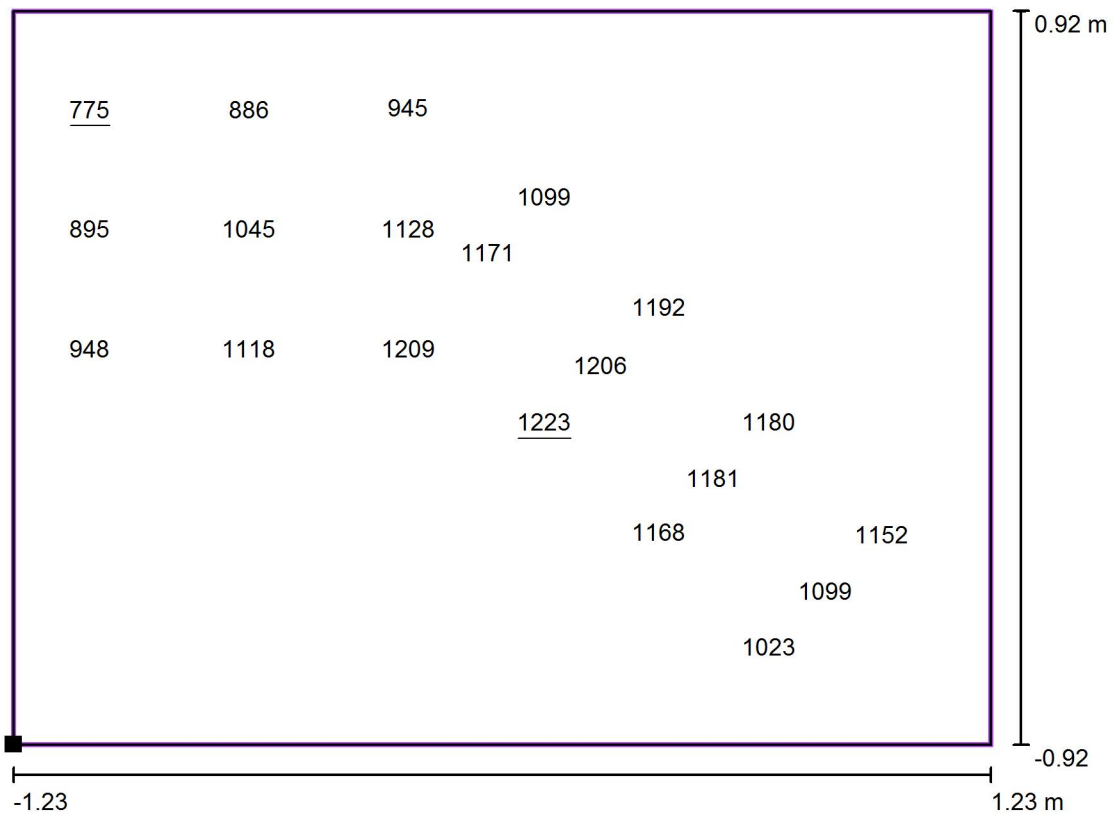
Ergebnisübersicht

Nr.	Typ	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	g_1	g_2	$E_{h\ m}/E_m$	H [m]	Kamera
1	senkrecht	1082	775	1223	0.72	0.63	/	0.000	/

$E_{h\ m}/E_m$ = Verhältnis zwischen mittlerer horizontaler und vertikaler Beleuchtungsstärke, H = Messhöhe

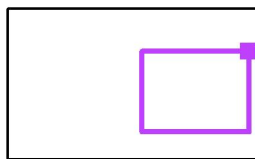
Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
 Telefon
 Fax
 e-Mail

Büro / Berechnungsraster2 / Wertegrafik (E, senkrecht)



Werte in Lux, Maßstab 1 : 19

Lage der Fläche im Raum:
 Markierter Punkt: (5.538 m, 2.465 m,
 0.800 m)



Raster: 20 Punkte

E_m [lx]
 1082

E_{min} [lx]
 775

E_{max} [lx]
 1223

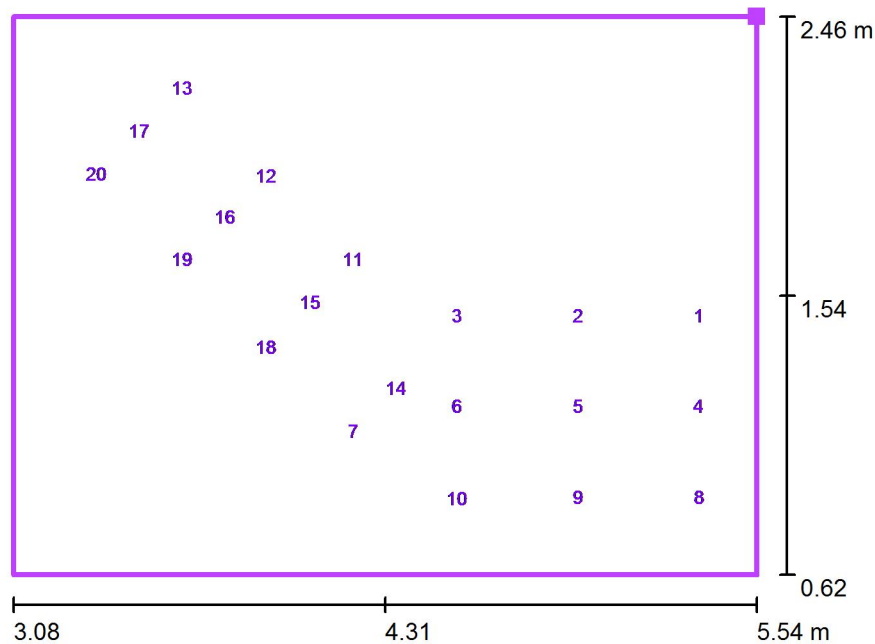
g_1
 0.72

g_2
 0.63

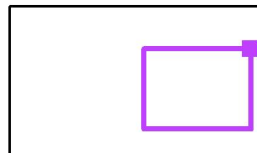


Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
 Telefon
 Fax
 e-Mail

Büro / Berechnungsraster2 / Punktwerte (E, senkrecht)



Lage der Fläche im Raum:
 Markierter Punkt: (5.538 m, 2.465 m,
 0.800 m)



Nr.	Position [m]			Wert [lx]
	X	Y	Z	
1	5.347	1.478	0.800	948
2	4.946	1.478	0.800	1118
3	4.547	1.478	0.800	1209
4	5.347	1.178	0.800	895
5	4.947	1.178	0.800	1045

Anzahl Punkte: 20

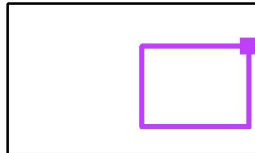
E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	g_1	g_2
1082	775	1223	0.72	0.63



Bearbeiter(in) Jürgen Strödel
 Telefon
 Fax
 e-Mail

Büro / Berechnungsraster2 / Punktwerte (E, senkrecht)

Lage der Fläche im Raum:
 Markierter Punkt: (5.538 m, 2.465 m,
 0.800 m)



Nr.	Position [m]			Wert [lx]
	X	Y	Z	
6	4.547	1.178	0.800	1128
7	4.205	1.096	0.800	1099
8	5.347	0.878	0.800	775
9	4.947	0.878	0.800	886
10	4.547	0.872	0.800	945
11	4.205	1.662	0.800	1223
12	3.916	1.939	0.800	1168
13	3.639	2.228	0.800	1023
14	4.346	1.238	0.800	1171
15	4.063	1.520	0.800	1206
16	3.781	1.803	0.800	1181
17	3.498	2.086	0.800	1099
18	3.916	1.373	0.800	1192
19	3.639	1.662	0.800	1180
20	3.356	1.945	0.800	1152

Anzahl Punkte: 20

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	g_1	g_2
1082	775	1223	0.72	0.63

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Chemnitz, den 26.August.2014

Jürgen Strödel